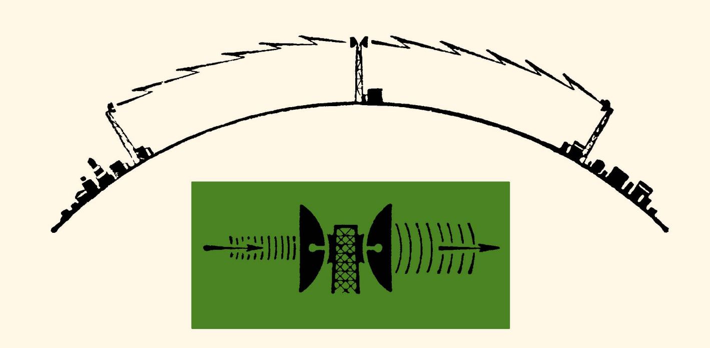


Г. И. БЯЛИК

НОВОЕ В ТЕЛЕВИДЕНИИ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

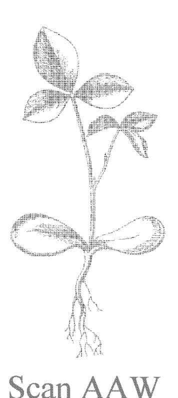
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 133

Г. И. БЯЛИК

НОВОЕ В ТЕЛЕВИДЕНИИ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД

ЭС-3-3
51105

В брошюре рассматриваются четыре проблемных вопроса техники современного телевидения: увеличение дальности телевизионных передач, увеличение размеров экрана, цветное и стереоскопическое телевидение.

Брошюра рассчитана на читателей, знакомых с принципами телевидения и радиотехники.

Редактор *М. И. Кривошеев.* Технич. редактор *А. М Фридкин*

Сдано в набор 20/IX 1951 г. Подписано к печати 31/I 1952 г.
Бумага $84\times108^1/_{32}$. $1^1/_4$ бумажн. лист, 4,1 п. л. Уч.-изд. л. 4,5
Т-01471. Тираж 20 000 экз. Заказ № 1369

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

За последнее десятилетие, наряду с общим развитием науки и техники в нашей стране, советская радиотехника во всех областях достигла значительных успехов. Это позволило сразу же после окончания Великой Отечественной войны создать высококачественную систему телевизионного вещания.

За короткий срок ученые и инженерно-технические работники завершили строительство московского телевизионного центра, ввели в действие ленинградский телевизионный центр и приступили к разработке телевизионных центров для других городов нашей родины.

Наша промышленность освоила массовый выпуск телевизионных приемников нескольких типов. Телевидение прочно входит в быт советских людей.

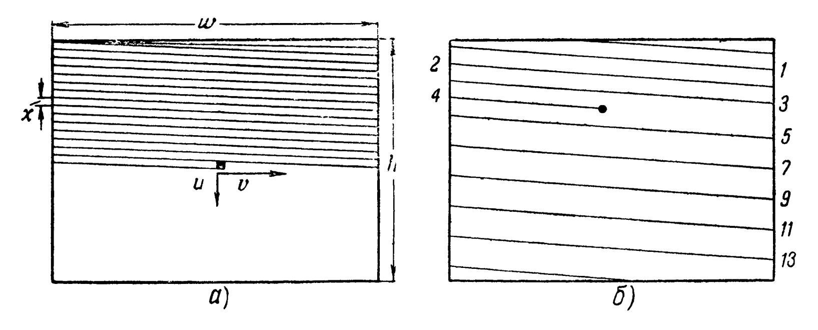
По своим техническим характеристикам наша система телевизионного вещания является более совершенной, чем системы вещания в США и в Англии, и обеспечивает высококачественное воспроизведение передаваемых изображений.

Современные системы телевизионного вещания характеризуются следующими основными техническими показателями: 1) способом разложения изображения; 2) спектром частот, содержащимся в телевизионном электрическом сигнале (видеосигнале); 3) способом модуляции; 4) полосой частот, занимаемой при передаче в эфире; 5) длиной волны несущего высокочастотного колебания; 6) способом синхронизации изображения; 7) методом звукового сопровождения. Совокупность этих показателей образует так называемый стандарт на телевизионное вещание, утверждаемый обычно в общегосударственном масштабе.

Прежде чем приступить к описанию новых разработок в области телевидения, рассмотрим основные особенности советского телевизионного стандарта.

Способ разложения. Способ разложения определяет собой порядок и скорость движения электронного луча, производящего последовательное преобразование электрического изображения на мозаике передающей трубки в электрические сигналы, и, соответственно, порядок и скорость движения электронного луча, воспроизводящего передаваемое изображение на экране приемной трубки.

В нашей системе движение луча происходит вдоль горизонтальных линий — с т р о к с одновременным медленным смещением в вертикальном направлении, как показано на фиг. 1. Луч движется слева направо и сверху вниз.



Фиг. 1. Движение электронного луча.

а — при последовательном разложении (*h*—высота кадра; *w*—ширина кадра, *v*—скорость движения в горизонтальном направлении; *u*—скорость движения в вертикальном направлении; *x* — ширина строки); *б*— при чересстрочном разложении.

Количество строк разложения определяет собой качество, четкость воспроизводимого изображения. Чем больше строк и чем меньше площадь сечения электронного пучка, производящего разложение, тем точнее будут воспроизводиться на экране мелкие детали передаваемого изображения. Все изменения яркости, которые происходят на площади, меньшей, чем площадь поперечного сечения пучка, не воспроизводятся.

Верхний предел, выше которого не имеет смысла увеличивать число строк разложения, определяется р а з р е ш а ю щ е й с п о с о б н о с т ь ю нашего зрения. Глаз неспособен различать изменения яркости в очень мелких деталях. Две светлые полосы на темном фоне, раздельно различаемые глазом на близком расстоянии, сливаются воедино, если расстояние их от глаза превышает некоторое значение.

Величина наименьшего угла, при котором еще можно раздельно различить полосы, зависит от индивидуальных

особенностей зрения и от ряда внешних факторов (яркость полос, цвет и др.). За среднее значение часто принимают угол, равный одной угловой минуте.

Очевидно, что, рассматривая телевизионное изображение, составленное из ряда горизонтальных строк, мы невправе требовать, чтобы угловой размер между смежными строками был меньше 1′, ибо различить изменения яркости в меньшем угловом размере глаз все равно не сможет.

Советская телевизионная система обеспечивает разложение изображения на 625 строк; при этом, если наблюдать изображение с расстояния, равного 6—8 высотам экрана, то строчная структура неразличима. Здесь уместно отметить, что число строк разложения в телевизионной системе Англии всего 405, а в США — 525.

Рассмотрим теперь вопрос о скорости разложения, который связан с другим свойством нашего зрения—з р и т е л ь н о й п а м я т ь ю.

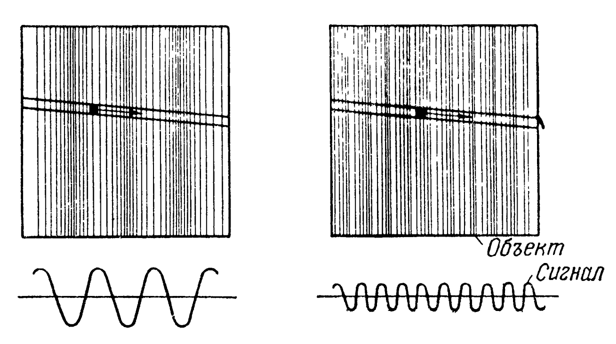
Каждый участок экрана приемной трубки облучается не непрерывно, а периодически, через известные промежутки времени, необходимые для того, чтобы электронный луч прочертил весь путь вдоль остальных строк. В силу зрительной памяти глаз не заметит мельканий света, если частота периодических вспышек достаточно велика. Та частота, при которой ощущение мерцающего света утрачивается, называется критической частотой мельканий. Установлено, что для условий наблюдения телевизионного экрана эта частота примерно равна 50 мельканиям в 1 сек. Значит, скорость движения электронного луча должна быть такой, чтобы за $^1/_{50}$ сек. луч прочертил все 625 строк, или за 1 сек — 31 250 строк. Передача с такой скоростью разложения требует очень сложной аппаратуры, пропускающей широкую полосу частот. В связи с этим было найдено эффективное средство уменьшения скорости передачи.

Если несколько изменить порядок разложения, показанный на фиг. 1,*а*, и осуществить его, как показано на фиг. 1,*б*, т. е. за время движения вдоль горизонтальной строки смещать луч на д в о й н о й строчный промежуток, то луч последовательно прочертит все нечетные (1, 3, 5...) строки. Если затем вернуть луч снова наверх, так чтобы он попал на вторую строку, то следующий раз луч будет прочерчивать все четные (2, 4, 6...) строки. После этого луч снова возвращается на первую строку и т. д. Многочисленными опытами установлено, что при подобном разложении критическая частота мельканий примерно вдвое меньше,

т. е. мерцаний не будет заметно, если каждая точка изображения освещается 25 раз в секунду. Ощущение от рассматривания такого изображения получается слитным, ибо соседний с данной точкой участок изображения, расположенный на смежной строке, будет освещаться через $^1/_{50}$ сек.

Таким образом, за $^1/_{50}$ сек. луч прочерчивает все нечетные, а за следующую $^1/_{50}$ сек. — все четные строки. При таком способе разложения, называемом чересстрочным, скорость развертки можно уменьшить до 15 625 строк в 1 сек.

Диапазон частот видеосигналов. Сложные по форме электрические сигналы, получающиеся на выходе передающей трубки (видеосигналы), можно представить в виде



Фиг. 2. Чем больше деталей содержит передаваемая сцена, тем выше частота видеосигнала.

совокупности отдельных гармонических составляющих. Такое представление является общепринятым в радиотехнике.

Частотный состав видеосигналов зависит, прежде всего, от содержания передаваемой сцены. При движении электронного луча вдоль строк передаваемое изображение можно рассматривать, как сочетание большого числа переходов от более ярких участков к менее ярким (или наоборот). Чем больше таких переходов, чем больше деталей содержит передаваемая сцена, тем больше изменений претерпит электрический сигнал, отображающий своей величиной значения яркости. На фиг. 2 показаны два различных изображения, преобразуемых в видеосигналы. Правое изображение содержит более мелкую структуру, чем левое. Так как скорость движения луча неизменна, видеосигнал от правого

изображения будет содержать, за один и тот же промежуток времени, больше изменений, чем видеосигнал от левого изображения.

Частотный состав видеосигналов, кроме того, определяется скоростью движения электронного луча. Чем быстрее движется электронный луч, тем больше изменений претерпит видеосигнал за определенный промежуток времени при преобразовании какого-нибудь конкретного изображения.

Для определения диапазона частот видеосигналов достаточно указать граничные частоты этого диапазона, т. е. наиболее низкую и наиболее высокую из возможных частот. Низшая частота, очевидно, определяется наименьшим числом изменений яркости, т. е. таким, когда передаваемая сцена состоит только из одного перехода от темного к светлому, например верхняя половина кадра светлая, а нижняя — темная. В этом случае за $^1/_{50}$ сек. будет одно изменение, т. е. низшая частота равна 50 *гц* (вопрос о воспроизведении средней освещенности сцены здесь не рассматривается).

Передаваемая сцена может содержать бесчисленное множество мелких переходов от темного к светлому. Однако выше было отмечено, что изменения яркости, происходящие на участках, меньших, чем сечение пучка, усредняются и на экране приемника не воспроизводятся. Хотя резкого ограничения при воспроизведении мелких деталей и не существует (по мере уменьшения величины деталей изменения яркости ощущаются с меньшим контрастом), все же для определенности за высшую частоту принимают ту, которая соответствует переходу от темного к светлому, происходящему вдоль строки на участке длиной в два диаметра развертывающего пучка.

Если кадр квадратный, то вдоль одной строки могут иметь место $^{625}/_2$ полных изменений яркости, а так как в нашей системе отношение длины кадра к его высоте принято равным $^4/_3$, то вдоль строки может быть $625 \times 4/2 \times 3$ изменений яркости. В 1 сек. разворачивается 15 625 строк, следовательно, высшая частота примерно равна $(625 \times \times 4/2 \times 3) \times 15\,625$ колебаниям в 1 сек., т. е. примерно 6,5 *мгц*. Мы не учитывали здесь ряд соображений, приводящих к тому, что ограничение частот выше 5—6 *мгц* мало сказывается на качестве изображения.

Способ модуляции и диапазон радиочастот. Видеосигналы, после достаточного усиления, используются для моду-

Для повышения качества передачи звуковое сопровождение передается методом частотной модуляции.

* * *

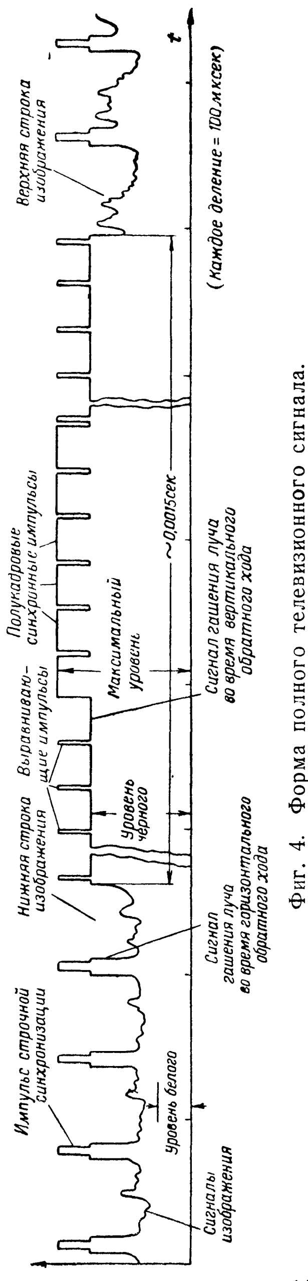
Приведенный краткий обзор основных особенностей советского телевизионного стандарта позволяет заключить, что в нашей системе телевизионного бещания предусмотрен ряд технических усовершенствований, которые обеспечивают высокое качество передаваемых изображений, а также создают возможность максимально упростить и удешевить телевизионную аппаратуру, главным образом приемники.

Однако действующая телевизионная система не обеспечивает воспроизведения некоторых естественных характеристик изображения — цвета и рельефности.

Поэтому советскими учеными разрабатываются методы, которые позволят в ближайшем будущем осуществить как цветное, так и рельефное стереоскопическое телевидение.

Важной задачей советского телевидения является повышение его массовости. Эта задача решается одновременно в двух направлениях: во-первых, путем увеличения дальности телевизионных передач и, во-вторых, путем разработки телевизионных приемников, позволяющих наблюдать изображения большому числу зрителей.

Ниже описываются возможные пути разрешения указанных проблем.

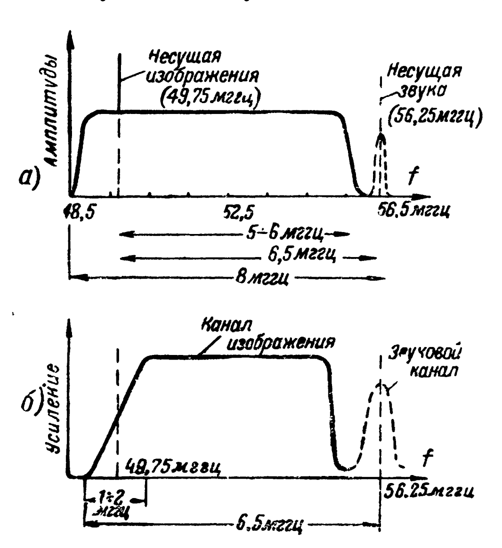


Фиг. 4. Форма полного телевизионного сигнала.

ляции радиопередатчика. В нашей системе передачи принят метод амплитудной модуляции высокочастотных колебаний (АМ).

Ряд исследований показал, что более выгодно осуществлять так называемую негативную модуляцию, когда максимальное значение излучаемой мощности соответствует передаче черного, а минимальное — передаче светлого изображения.

При АМ несущей результирующее колебание можно представить в виде совокупности гармонических составляющих с разными частотами. Спектр такого колебания состоит из несущей и двух боковых полос, простирающихся вниз и вверх по оси частот от несущей. Общая полоса частот, занимаемая при этом в пространстве, равна двойной полосе модуляционных частот, т. е. для нашей системы составляет примерно 12 *мггц*.



Фиг. 3. Частотный спектр колебания, излучаемого телевизионным передатчиком — *а*, и кривая избирательности приемника — *б*.

Почти двойное сокращение полосы частот может быть достигнуто в системе передачи с частично подавленной одной боковой полосой. В этом случае в передатчике с помощью специального фильтра одна из боковых модуляционных полос частично подавляется, и спектр излучаемого колебания имеет вид, иллюстрируемый фиг. 3,*а*. Произвести резкое подавление одной из боковых модуляционных полос практически не представляется возможным, ибо фильтры не обладают столь резкой отсечкой, чтобы при широкополосном сигнале разделить колебания, частоты которых отличаются всего на 50 *гц*.

Для того чтобы изображение в этом случае было неискаженным, кривая избирательности приемника должна

иметь вид, показанный на фиг. 3,*б*, т. е. несущая должна усиливаться вдвое меньше, чем гармоники из верхней части пропускаемого спектра. В диапазоне приблизительно до 0,5 *мггц* вверх и вниз от несущей коэффициент усиления должен плавно уменьшаться от 100% до 0.

Слишком крутой спад кривой избирательности в области, примыкающей к несущей, может привести к появлению искажений изображения. Обычно рекомендуется, чтобы диапазон области плавного спада кривой избирательности составлял в общей сложности примерно 20% от ширины полосы пропускания, т. е. по 10% вверх и вниз от несущей. Если выполняется это условие, то при демодуляции (детектировании), в приемнике симметрично расположенные относительно несущей низкочастотные составляющие спектра складываются. Амплитуды этих составляющих как бы дополняют друг друга до величины, равной амплитудам составляющих из верхней части спектра, пропускаемых приемником без подавления.

Диапазон волн, используемый для вещания. Телевизионное вещание осуществляется в диапазоне ультракоротких волн (УКВ). В советской системе вещания для телевизионных передач в настоящее время отведены три участка частотного спектра — три канала: I канал — от 48,5 до 56,5 *мггц*; II канал — от 58,0 до 66,0 *мггц*; III канал — от 76,0 до 84,0 *мггц*. Частоты несущих колебаний для передачи сигналов изображения в этих каналах соответственно равны: 49,75, 59,25 и 77,25 *мггц*.

Необходимость работы в диапазоне ультракоротких волн диктуется главным образом тем, что частота несущего высокочастотного колебания должна быть по меньшей мере раз в 5—10 больше, чем высшая из модулирующих частот, для того чтобы можно было осуществить неискаженную демодуляцию сигналов в приемнике.

К преимуществам вещания на УКВ следует также отнести низкий уровень помех в этом диапазоне. Однако вещание на метровых волнах связано с ограничением радиуса действия телевизионного передатчика, так как эти волны распространяются почти прямолинейно, не огибая земной поверхности.

Если при использовании длинных и средних радиоволн напряженность поля в месте приема можно повысить за счет повышения мощности излучения, то на УКВ, после удаления за линию радиогоризонта, определяемую высота-

ми передающей и приемной антенн, этого сделать нельзя. Однако остается еще одна возможность увеличения радиуса действия передатчика — подъем передающей и приемной антенн. Так, например, при высоте передающей антенны 50 *м* и высоте приемной антенны 25 *м* радиус действия передатчика может достигнуть примерно 40 *км*. Если поднять передающую антенну на 100 *м*, то при той же приемной антенне радиус увеличится до 60 *км*.

Синхронизация изображения. Синхронизация изображения необходима для того, чтобы движение луча в приемной трубке полностью соответствовало движению луча в передающей трубке (в противном случае изображение будет искажено). Для этой цели движение луча в приемной трубке управляется особыми сигналами, посылаемыми телевизионным передатчиком в моменты, предшествующие началу движения луча вдоль каждой строки (строчные синхронизирующие импульсы), и после окончания развертки каждой нижней строки изображения (полукадровые синхронизирующие импульсы).

Импульсы синхронизации совпадают во времени с возвратным движением электронного луча. Как известно, во время обратных ходов посылаются специальные импульсы, запирающие электронно-лучевую трубку, так что следы от движения луча в обратном направлении на экране не видны. Часть промежутка времени, когда подаются сигналы гашения луча, используется также для передачи импульсов синхронизации. Некоторое время передатчик излучает мощность, превышающую мощность излучения при передаче наиболее темных участков изображения и сигналов гашения луча. Форма огибающей высокочастотного колебания, или так называемая *форма полного телевизионного сигнала*, изображена на фиг. 4. Строчные синхронизирующие импульсы отличаются от полукадровых длительностью, что позволяет их разделять специальными схемами.

Звуковое сопровождение. Сигналы звукового сопровождения в нашей системе вещания передаются также на УКВ. Частоты несущих сигналов звукового сопровождения превышают частоты несущих сигналов изображения точно на 6,5 *мггц*, т. е. в I канале частота несущей звука равна 56,25, во II — 65,75 и в III — 83,75 *мггц*.

Такое размещение несущих сигналов звука позволяет использовать часть схемы приемника для совместного приема сигналов, что упрощает приемник.

УВЕЛИЧЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ

Дальность действия УКВ передатчика по достижении определенного значения мощности определяется, главным образом, высотой передающей и приемной антенн.

Поэтому одним из возможных способов увеличения дальности действия телевизионных передатчиков является увеличение высоты, с которой производится излучение электромагнитной энергии. Однако подъем излучателя не является единственным способом увеличения дальности.

Другой способ состоит в организации систем телевизионных центров, связанных между собой с помощью проводных линий или промежуточных ретрансляционных станций.

Рассмотрим особенности проводной связи.

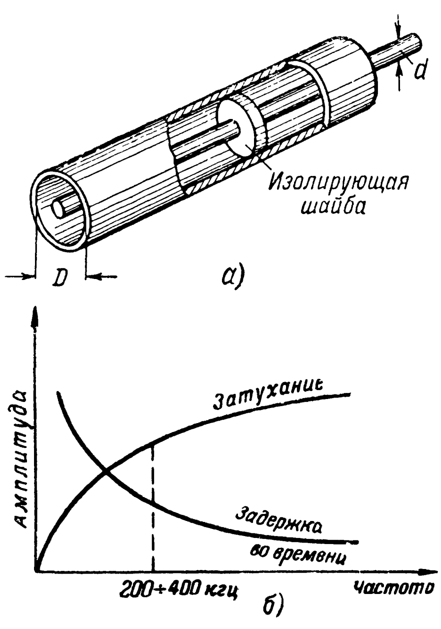
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОАКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ

При передаче телевизионных сигналов на большие расстояния по проводам в качестве линии связи используют коаксиальный кабель. В коаксиальном (концентрическом) кабеле (фиг. 5,*а*) центральный провод расположен вдоль оси, обычно гибкой, металлической трубки или оплетки, где он крепится на изолирующих подставках. В таком кабеле, помимо отсутствия потерь на излучение, влияние внешних полей сказывается значительно слабее, так как благодаря известному поверхностному эффекту наружный проводник является одновременно защитным экраном. Это объясняется тем, что переменные токи протекают только в поверхностных слоях проводников, и чем выше частота, тем тоньше этот слой. Поэтому токи полезного сигнала протекают по внутреннему поверхностному слою наружного проводника и по наружному слою внутреннего проводника. А токи, образованные внешними полями, концентрируются на внешней поверхности наружного проводника и, таким образом, не влияют на сигнал.

Для того чтобы экранирование было действенным на самых низких частотах, толщину наружного проводника нужно увеличивать, однако это невыгодно по конструктивным и экономическим соображениям. Последнее обстоятельство является одной из основных причин, по которым видеосигналы непосредственно по коаксиальному кабелю на большие расстояния не передаются, а используется допол-

нительная модуляция, с помощью которой весь частотный спектр видеосигнала сдвигается в область более высоких частот.

Затухание кабеля на единицу длины, т. е. уменьшение амплитуды передаваемых колебаний, зависит от удельного сопротивления проводов, частоты тока и отношения диаметра наружного проводника к внутреннему (D/d). Так как токи с ростом частоты протекают в более тонких поверхностных слоях, то затухание с ростом частоты увеличивается: оно пропорционально корню квадратному из частоты (см. кривую на фиг. 5,*б*). При отношении D/d, равном 3,6, кабель обладает наименьшим затуханием. В практике часто применяют кабель с внешним диаметром около 10 *мм* и диаметром внутреннего проводника около 3 *мм*.



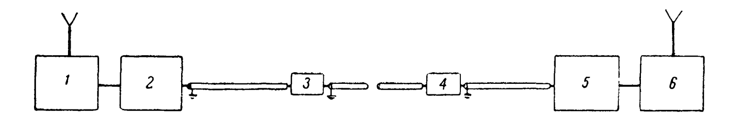
Фиг. 5. Конструкция коаксиального кабеля — *а* и график изменения его параметров с частотой — *б*.

Зависимость задержки во времени сигнала от частоты также изображена кривой на фиг. 5,*б*. Из этой кривой следует, что в области низких частот задержка изменяется наиболее резко. Поэтому желательно, чтобы самые низкие из передаваемых частот были сдвинуты в область частот порядка 200—400 *гц*.

Для компенсации потерь в линии или, точнее, для того чтобы сохранить по всей ее длине определенное превышение уровня сигнала над уровнем шумов, необходимо практически через каждые 8—10 *км* длины передающей линии устанавливать промежуточные усилительные устройства. Помимо обеспечения требуемого усиления, частотные и фазовые характеристики таких усилителей должны быть такими, чтобы они компенсировали неравномерность за-

держки во времени и затухания, которыми обладает линия. Поэтому частотные характеристики промежуточных усилителей обладают подъемом на высоких частотах. Для компенсации непостоянства задержки применяют специальные, так называемые выравнивающие, фильтры.

Таким образом, схема устройства кабельной связи между двумя телевизионными центрами состоит из усилителя видеосигналов на передающем центре, модулятора, преобразующего спектр частот видеосигналов (так, что последний сдвигается в сторону более высоких частот), коаксиаль-



Фиг. 6. Схема устройства кабельной связи между двумя телевизионными центрами.

1 — первый телецентр; 2 — преобразователь; 3 — первый промежуточный усилитель; 4 — последний промежуточный усилитель, 5 - преобразователь, 6 — второй телецентр.

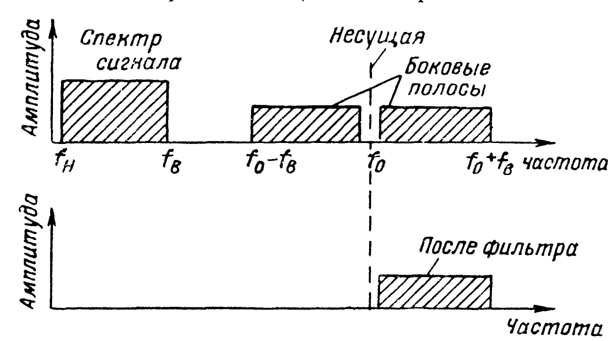
ного кабеля, по всей длине которого установлены промежуточные усилители, усилителя и демодулятора на приемном конце (фиг. 6). Принятые видеосигналы поступают дальше для модуляции широковещательного мощного передатчика. Такая связь между крупными населенными пунктами позволяет охватить телевизионным вещанием несколько районов с большой плотностью населения, однако на расстояния свыше 1 500—2 000 *км* такой способ передачи осуществить трудно.

В связи с тем, что вспомогательная модуляция отличается от обычно принятой в радиовещании, рассмотрим принцип ее осуществления.

Преобразование частотного состава сигналов, передаваемых по кабелю. Задачей модулирующего устройства является преобразование спектра частот видеосигнала, при котором вся полоса передвинулась бы в сторону более высоких частот на 200—400 *кгц*. Будем считать, что полосу нужно сдвинуть на 300 *кгц*. Так как ширина полосы видеосигнала составляет несколько мегагерц, то осуществить сдвиг с помощью одной вспомогательной несущей не удается. Действительно, если бы полоса была узкой, как, например, при передаче звуковых сигналов, то можно было бы промодулировать колебанием, подлежащим сдвигу, колебания

высокочастотного генератора с частотой, равной 300 *кгц*, и затем из сложного спектра выделить с помощью полосового фильтра верхнюю боковую полосу, как это схематически представлено на фиг. 7.

Но при наличии широкой полосы, когда частота, на которую необходимо сдвинуть спектр, входит в полосу видеочастот, этого сделать нельзя, так как спектры частот взаимно перекрываются. Поэтому применяют двойное преобразование и на передающем, и на приемном концах, как



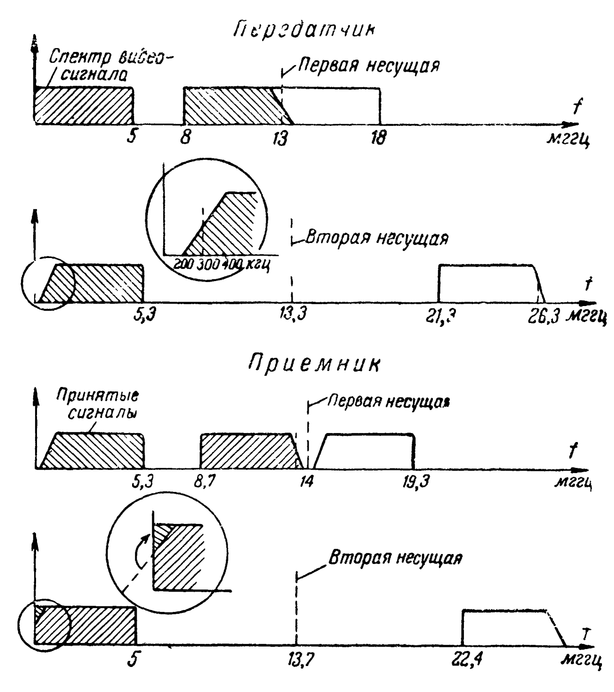
Фиг. 7. Частотный спектр амплитудно-модулированного колебания и спектр сигналов после прохождения АМ колебания через полосовой фильтр.

это схематически изображено на фиг. 8. Если предположить, что спектр видеосигнала, составляющий $0 \div 5$ *мггц*, модулирует несущую частоту 13 *мггц*, то в результате получается спектр с несущей и двумя боковыми полосами: нижней — от 8 до 13 *мггц* и верхней — от 13 до 18 *мггц*. С помощью фильтра выделяют только нижнюю боковую полосу. Однако характеристика пропускания фильтра не может иметь идеального среза, а спадает плавно, поэтому пропущенные фильтром колебания содержат несколько подавленную несущую и часть верхней боковой полосы. Допустим, что диапазон плавного спада частотной характеристики фильтра составляет по 100 *кгц* в каждую сторону от несущей.

Отделив, таким образом, нижнюю боковую полосу, модулируют этими колебаниями вторую несущую с частотой 13,3 *мггц*. После модуляции получаются: несущая и две боковых (нижняя — от 300 *кгц* до 5,3 *мггц* и верхняя — от 21,3 до 26,3 *мггц*), причем те частоты, которые ближе примыкали к несущей, после модуляции дальше отстоят от

несущей, как это имеет место при любой модуляции. С помощью фильтра пропускаются только колебания, соответствующие нижней боковой полосе; эти колебания передаются по кабельной линии связи.

На приемном конце с помощью двойной модуляции осуществляют обратное преобразование и получают исходный спектр. Принятыми колебаниями сначала модулируют несу-



Фиг. 8. Частотные преобразования сигналов, подлежащих передаче по кабелю, и обратные преобразования при приеме.

щую с частотой, скажем, 14 *мггц*. В результате получаются: несущая, нижняя боковая — от 8,7 до 13,7 *мггц* и верхняя боковая — от 14,3 до 19,3 *мггц*. Фильтром выделяется только нижняя боковая полоса; прошедшие фильтр колебания модулируют вторую несущую с частотой 13,7 *мггц*. В результате второй модуляции и устранения верхней боковой полосы получают исходный спектр видеосигнала. При второй модуляции на приемном конце нижние частоты, ча-

стично подавленные при первой модуляции на передающем конце, в процессе второго преобразования складываются так, что низкочастотных искажений не наступает.

Таким образом, метод сдвига частот колебаний, передаваемых по кабелю, позволяет улучшить защитное, экранирующее действие кабеля, тем самым увеличить длину линии между двумя соседними промежуточными усилителями. Однако данному методу свойственны и некоторые недостатки, заключающиеся в усложнении оборудования, а также в том, что передача по линии связи, при использовании сдвига частот, вносит специфические искажения. Остановимся кратко на сущности последних.

При рассматривании телевизионных изображений нелинейные искажения сигналов проявляются в некотором изменении контрастности изображения, т. е. в нарушении отношения яркостей двух соседних элементов изображения. В связи с тем, что глаз реагирует не на частотный состав, а только на форму кривой, указанные нелинейные искажения допустимы в более широких пределах, чем это имеет место при усилении звуковых сигналов. Однако появление в видеосигналах гармоник, частоты которых не кратны какой-нибудь из основных, приводит к появлению посторонних, чаще всего перемещающихся потемнений экрана.

Обратимся теперь к рассмотрению системы, в которой осуществляется сдвиг частотного спектра, и допустим, что промежуточные усилители вносят нелинейные искажения. Тогда, если бы усиливался не преобразованный спектр видеосигналов, то на выходе линии, при наличии в спектре основного колебания с частотой, равной, например, 35 *кгц*, мы получили бы, кроме того, высшие гармоники этого колебания с частотами 70, 105 *кгц* и т. д. В случае преобразования спектра все частоты повышаются на 300 *кгц*. После усиления, при наличии нелинейных искажений, появятся высшие гармоники этого колебания с частотами 670, 740 *кгц* и т. д.

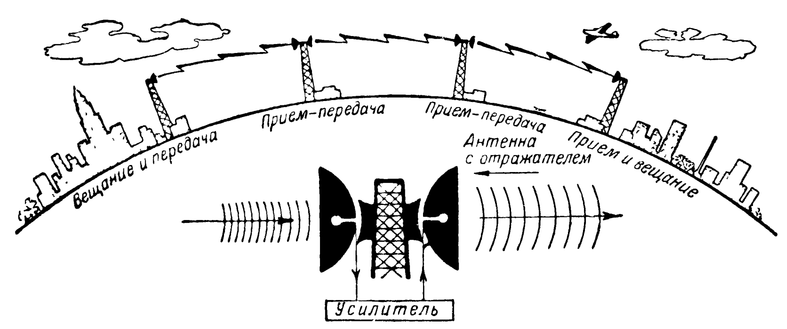
На приемном конце происходит понижение частот на 300 *кгц*, и тогда в спектре снова появятся основное колебание с частотой 35 *кгц* и дополнительные гармоники, частоты которых совершенно не кратны основной (370, 440 *кгц* и т. д.).

Если амплитуды этих колебаний не очень малы, то на экранах приемных трубок можно наблюдать специфический узор, искажающий изображение.

Возможность возникновения нелинейных искажений такого рода ставит перед конструкторами усилительной аппаратуры весьма жесткие требования к качеству усилителей и, естественно, увеличивает стоимость линий. Кабельные линии телевизионной связи, однако, обладают важным практическим преимуществом — возможностью одновременной передачи нескольких десятков телефонных разговоров в частотном диапазоне от 0 до 200 *кгц*, который не занят телевизионной передачей. В отсутствии же телевизионной передачи весь кабель можно использовать для передачи нескольких сот телефонных переговоров.

НАЗЕМНАЯ РАДИОТРАНСЛЯЦИЯ

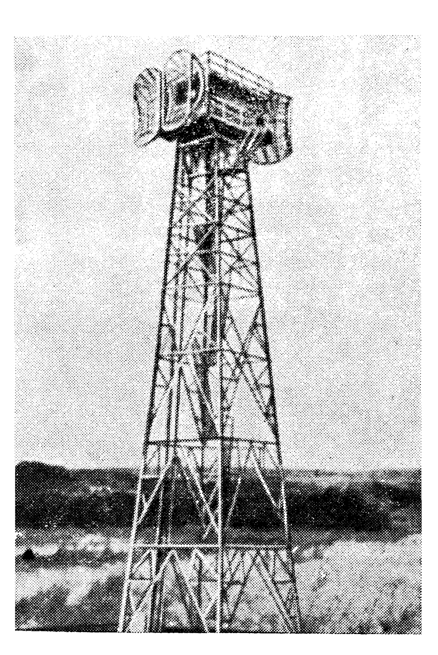
Для связи удаленных друг от друга телевизионных центров могут быть использованы наземные автоматически действующие приемно-передающие радиоустановки, работающие в диапазоне дециметровых или сантиметровых волн. Цепь таких установок образует так называемую радиоретрансляционную линию (фиг. 9). Выбор короткой длины



Фиг. 9. Цепь приемно-передающих установок связывает между собой удаленные телевизионные центры.

волны диктуется тем, что по мере укорочения волны проще сконцентрировать электромагнитную энергию в узкие пучки и направлять всю излучаемую мощность в одном направлении. Это позволяет значительно уменьшить мощность, требуемую для уверенной связи, а значит, упростить конструкцию установок и источников питания. Другим немаловажным доводом в пользу выбора сантиметровых или дециметровых волн является большая помехоустойчивость связи на этих волнах.

Для уменьшения числа трансляционных пунктов антенны устанавливаются на высоких башнях. При высоте башни 50 *м* геометрическая видимость составляет примерно 50 *км*. На фиг. 10 изображена одна из возможных конструкций промежуточной станции. На башне расположены антенны с параболическими отражателями, концентрирующие электромагнитную энергию в определенном направлении. Обычно используют по две антенны в каждую сторону для одновременной двусторонней связи или для резервирования аппаратуры в случае аварии.



Фиг. 10. Приемо-передатчики для двусторонней телевизионной связи устанавливаются на высоких башнях.

Назначением аппаратуры промежуточных станций являются прием сигналов предыдущей станции и передача их в несколько измененном направлении в вертикальной плоскости. Кроме этого, на промежуточных станциях приходится усиливать принятые сигналы, чтобы компенсировать их затухание в атмосфере и потери за счет рассеяния в пространство, так как передающие антенны излучают несколько расходящийся пучок лучей, и приемные антенны улавливают только часть этой энергии.

Усиление электромагнитных колебаний сверхвысоких частот представляет технически сложную задачу, поэтому усиление производится на более низких частотах и применяется преобразование частот до и после усиления.

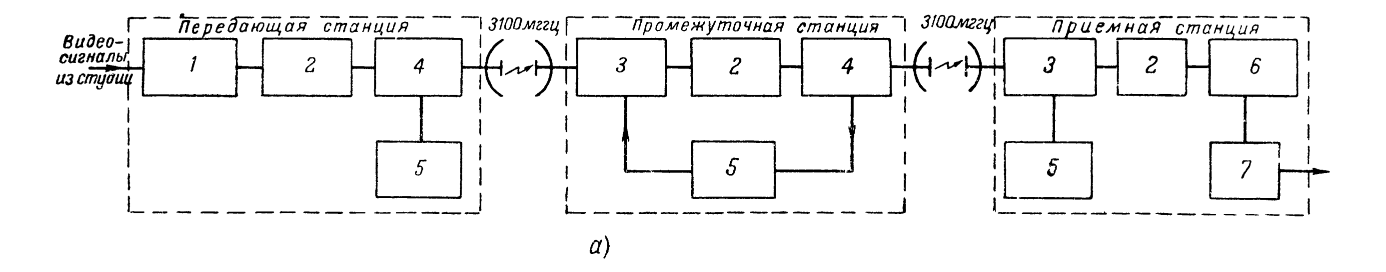
Работа в области дециметровых и, особенно, сантиметровых волн связана еще с одним практическим неудобством — относительно низкой устойчивостью частот генераторов (гетеродинов). Допустим, что генератор, с точки зрения практики радиовещания на длинных или коротких

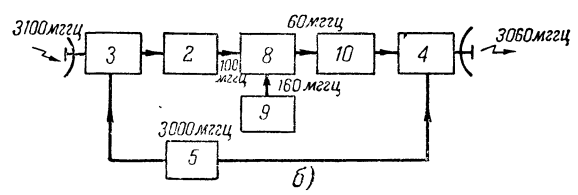
волнах, обладает достаточно высокой устойчивостью; уход частоты не превышает, скажем, 0,01% от несущей. Тогда на частоте 3 000 *мггц* (10 *см*) это составит 300 *кгц*. Ясно, что такой уход частоты гетеродина приведет к искажению сигналов на выходе относительно узкополосного усилителя промежуточной частоты.

Для уменьшения влияния расстройки и повышения помехоустойчивости системы обычно используют для промежуточных трансляций на сантиметровых и дециметровых волнах частотную модуляцию несущей видеосигналами. В этом случае спектр модуляционных частот и соответственно полоса пропускания УПЧ шире и расстройки не столь существенны. Кроме того, изменение амплитуд усиливаемых колебаний при уходе частоты, вследствие неравномерности частотных характеристик УПЧ, не имеет значения, так как перед демодуляцией ЧМ сигналы проходят через амплитудный ограничитель.

Рассмотрим упрощенную блок-схему одного из возможных вариантов такой установки (фиг. 11,*а*). Видеосигналы передающей станции подаются к частотному модулятору, на выходе которого получается ЧМ колебание с центральной частотой 100 *мггц* и шириной спектра около 20 *мггц*. Частотный модулятор состоит из двух генераторов сверхвысокочастотных колебаний (клистронов). Генерируемые колебания отличаются по частоте на 100 *мггц*. Как известно, изменение напряжения на отражательном электроде клистрона приводит к изменению частоты генерируемых колебаний. В рассматриваемой схеме на отражательные электроды, помимо постоянного напряжения, подаются в противофазе видеосигналы так, что при увеличении сигнала напряжение на отражателе одного из клистронов увеличивается, а другого — уменьшается; соответственно изменяются и генерируемые частоты. После этого колебания подводятся к кристаллическому смесителю, выход которого подключен к усилителю с центральной частотой полосы пропускания, равной разностной между частотами клистронов при отсутствии видеосигналов. При наличии видеосигналов значение разностной частоты все время меняется, т. е. осуществляется частотная модуляция.

После усиления ЧМ колебание подводится к преобразователю частоты. Туда же подаются колебания от достаточно мощного генератора с часотой, равной, скажем, 3 000 *мггц*. Преобразователь частоты устроен так, что на его выходе получается колебание, мгновенная частота кото-





Фиг. 11. Упрощенная блок-схема телевизионной радиотрансляции *(а)* и практически используемая блок-схема приемо-передающей промежуточной станции *(б)*.

1 — частотный модулятор; *2* — усилитель с центральной частотой 100 *мггц*; *3* — смеситель; *4* — преобразователь; *5*— генератор несущей с частотой 3 000 *мггц*; *6* — дискриминатор; *7* — видеоусилитель; *8*—второй преобразователь частоты, *9*— гетеродин с частотой колебаний 160 *мггц*; *10*—усилитель с центральной частотой 60 *мггц*.

рого равна сумме мгновенных значений частот подводимых к нему колебаний. Так как частота генератора неизменна, а колебание с центральной частотой 100 *мггц* модулировано по частоте видеосигналами, то на выходе преобразователя получим ЧМ колебание с центральной частотой 3 100 *мггц*. Эти колебания излучаются передающей антенной и принимаются на промежуточной станции.

Принятые сигналы, а также колебания от местного генератора с частотой 3 000 *мггц* подводятся к кристаллическому смесителю, на выходе которого выделяются сигналы, модулированные по частоте, с центральной частотой, равной разностной — 100 *мггц*; последние усиливаются широкополосным усилителем (с полосой пропускания до 20 *мггц*). После этого производится преобразование частоты, аналогичное выше описанному, излучение, прием и т. д. На последнем приемном пункте, помимо описанных устройств, имеется дискриминатор (демодулятор ЧМ колебаний), на выходе которого выделяются видеосигналы. Последние подаются для модуляции мощного телевизионного передатчика.

Реальная аппаратура, конечно, значительно сложнее, чем это описано. Так, например, на каждой промежуточной приемо-передающей станции (фиг. 11,*б*) производятся не одно, а два преобразования частоты, для того чтобы связь между двумя последующими промежуточными станциями осуществлялась на волнах, отличающихся на величину, бо́льшую, чем полоса пропускания канала, например 3 100 *мггц* и 3 060 *мггц*. Это делается для того, чтобы предохранить приемное устройство от влияния на него энергии, излучаемой передатчиком, установленным на той же башне. Если не выполнить предохранительных мер, то часть энергии передатчика из-за несовершенства направленного действия антенны может попасть на вход приемника. Такая обратная связь приводит к возникновению сильных искажений изображения и неустойчивости работы устройства.

Принцип работы реальной схемы, изображенной на фиг. 11,*б*, состоит в том, что колебание с несущей частотой 100 *мггц*, полученное после первого преобразования, вновь преобразуется по частоте. Для этого используется второй гетеродин с частотой, скажем, 160 *мггц*. Сигналы с выхода первого усилителя и сигналы от второго гетеродина подводятся ко второму смесителю. На выходе смесителя установлен второй полосовой усилитель, настроенный на центральную частоту 60 *мггц*, равную разностной частоте двух

преобразуемых колебаний. После усиления сигналы с центральной частотой 60 *мггц* и сигналы от генератора колебаний с частотой 3 000 *мггц* преобразуются изложенным выше методом в колебания с частотой 3 060 *мггц*.

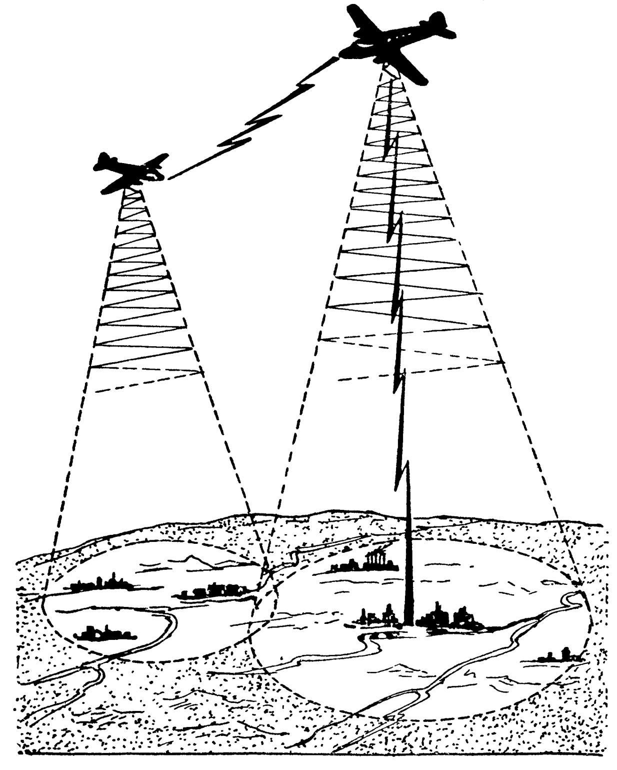
При осуществлении междугородной телевизионной связи (любым способом) приходится сталкиваться с одним неприятным явлением. Как известно, работа генераторов разверток в передатчике и приемнике синхронизируется с частотой питающей сети. Если передача и прием производятся в одном городе, точнее в одном энергетическом районе, то некоторая неустойчивость номинальной частоты питающей сети не имеет значения, так как она влияет в равной степени на развертки передающей и приемной трубок. Если напряжения, питающие аппаратуру, между собой не связаны, что имеет место при дальней связи, то возникают трудности в создании устойчивой кадровой синхронизации. Кроме того, несовершенство фильтрации питающих напряжений в этом случае приводит к искажению изображения и к потере его устойчивости. В настоящее время разрабатываются несложные способы устранения указанных искажений.

На основании изложенного можно сделать некоторые выводы. Преимуществом системы наземных трансляций, по сравнению с кабельной связью, является уменьшение числа промежуточных усилительных устройств при одинаковой длине линий связи. Следует учитывать, что любое усиление или преобразование сопровождается появлением искажений. Поэтому, в конечном итоге, искажения наслаиваются, и качество изображения от этого сильно страдает. При радиотрансляции отсутствуют специфические искажения формы сигналов, которые имеют место из-за изменения параметров кабеля с частотой, требующие специальных выравнивающих усилителей.

Другим преимуществом наземных трансляций является работа на сверхвысоких частотах, в связи с чем отсутствуют ограничения в ширине полосы воспроизводимых частот, что особенно важно с точки зрения перспективного высококачественного цветного телевидения, где ширина полосы видеочастот должна быть больше, чем в черно-белом телевидении. Однако использование обеих систем для связи телевизионных центров, удаленных друг от друга на тысячи километров, а также для покрытия телевизионным вещанием большой территории Советского Союза все же ограничено.

САМОЛЕТНЫЕ РАДИОТРАНСЛЯЦИИ

В 1936 г. проф. П. В. Шмаков предложил и технически обосновал идею самолетного телевизионного вещания. Согласно предложению П. В. Шмакова телевизионный передатчик устанавливается на самолете, который поднимается на большую высоту и оттуда осуществляет вещание (фиг. 12). Во время работы самолет курсирует на заданной



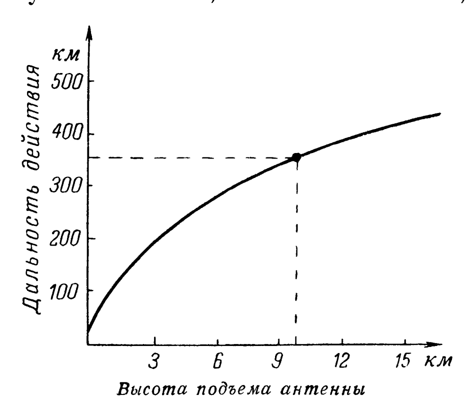
Фиг. 12. Самолеты, оборудованные телевизионными передатчиками.

высоте по кругу с радиусом 5—6 *км*. Связь самолета с источником программы — наземным телецентром осуществляется с помощью радиолинии.

Если обратиться к фиг. 13, то мы заметим, что при высоте подъема, равной 3 000 *м*, радиус зоны уверенного приема составит 195 *км*, а если поднять антенну на высоту 10 *км*, то радиус уже составит 350 *км*.

Таким образом, осуществление этой системы явилось бы существенным шагом в разрешении проблемы дальности телевизионных передач. Познакомимся с некоторыми техническими предпосылками к реальному осуществлению самолетного вещания.

Ограничением при использовании самолетного вещания является зависимость от метеорологических условий. Однако нужно учесть, что состояние погоды имеет значение, в основном, только для спуска самолета, ибо на той высоте, откуда производится вещание (9—10 *км*), всегда хорошая погода. Современная авиация располагает машинами, производящими полет в достаточно сложных метеорологических условиях, при наличии сильных ветров, отсутствии видимости, не боясь обледенения. Поэтому можно считать, что ограничения, связанные с погодой, не столь существенны.



Фиг. 13. Зависимость радиогоризонта от высоты, на которую поднят излучатель.

При полете на высоте 10 *км*, из-за сильной разреженности окружающего воздуха кабины самолета должны быть герметизированы, и в них необходимо поддерживать нормальное для человеческого существования давление и состав воздуха. Эта проблема также успешно разрешена в современных высотных самолетах.

Как долго сможет самолет продержаться в воздухе? Это зависит от запасов горючего, веса оборудования и, следовательно, от требуемой мощности излучения. Подсчеты показывают, что для создания на земле на расстоянии 350 *км* от самолета напряженности поля, необходимой для работы существующих телевизионных приемников при длине волны 5 *м* и высоте приемной антенны 10 *м*, мощность излучения должна быть примерно 1 *квт*.

Для питания установки можно использовать специальные самолетные генераторы, вращающиеся от авиационных двигателей, а распространенные транспортные самолеты поднимают груз, превышающий вес однокиловатного УКВ

передатчика с необходимыми источниками питания. При наличии полной весовой загрузки, запасов горючего хватит на то, чтобы подняться на высоту 10 *км*, проработать в воздухе 3 часа и опуститься на землю. Ограниченность времени вещания, конечно, является недостатком системы.

Рассматриваемая система обладает некоторыми преимуществами по сравнению с наземным вещанием. В условиях большого города близко расположенные высокие здания часто заслоняют передающую антенну от приемной и создают вторичные отражения, которые в виде дополнительных контуров искажают изображение. При приеме самолетных передач между антеннами, установленными на крышах, и летящим высоко над городом самолетом существует идеальная геометрическая видимость, а интенсивность вторичных отражений очень мала. С этой точки зрения качество изображений, принятых с самолетов, должно быть выше, чем при приеме от наземной станции.

Мощность наземного передатчика, необходимая для связи с самолетом, находящимся над передатчиком, т. е. при расстояниях, не превышающих 10—20 *км*, если использовать направленное излучение, чрезвычайно мала и не превышает 100 *вт*. При излучении с земли узко направленных пучков величина принимаемых на самолете сигналов будет несколько изменяться, так как самолет не остается неподвижным, а напряженность поля зависит от пространственного местоположения приемной антенны. Для того чтобы сигналы изменялись незначительно, угол рассеяния излучаемых колебаний не должен быть очень малым (не меньше 5—6° при высоте полета 10 *км*) или же наземная антенна должна быть снабжена следящим устройством, поворачивающим ось антенны соответственно изменению положения самолета.

Помимо указанного использования одного самолета, в дальнейшем может быть осуществлена воздушная радиотрансляционная система связи.

В этом случае в воздухе на высоте 10 *км* на расстояниях, примерно равных 700 *км*, будут курсировать самолеты, между которыми осуществлена радиосвязь. Один из самолетов связан с источником программы (наземным телецентром), которая транслируется на другие самолеты. При этом каждый из самолетов, помимо того что он является звеном связи, будет излучать в направлении земли с помощью вещательного передатчика принятые сигналы.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Несмотря на то, что система самолетного телевизионного вещания при ее техническом осуществлении значительно расширила бы число телезрителей, все же эта система сопряжена с некоторыми эксплуатационными и техническими неудобствами.

Какое же перспективное решение разработано советской наукой в проблеме дальности радиосвязи на ультракоротких, дециметровых и сантиметровых волнах? В 1943 г. у академиков Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси, на основании последних достижений радиотехники, возникла идея о точном измерении расстояния от Земли до Луны радиометодами. Путем вычислений они доказали возможность установления радиоконтакта с Луной.

По мысли ученых, послав импульс электромагнитной энергии в виде узкого пучка радиоволн в направлении Луны, через 2,5 сек. на земле следует ожидать появления отраженного от лунной поверхности сигнала, так как радиоволны беспрепятственно проходят через верхние ионизированные слои атмосферы и затухание электромагнитной энергии в мировом пространстве ничтожно мало.

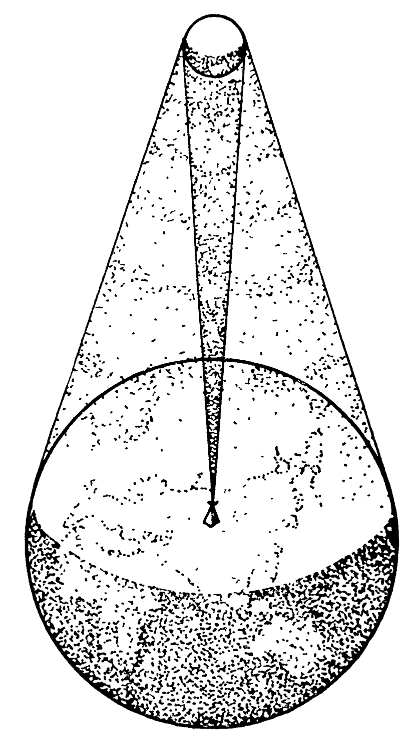
В 1946 г., использовав радиолокационную аппаратуру, удалось получить радиоимпульсы, отраженные от Луны. Таким образом, подтвердилось научное предвидение академиков Мандельштама и Папалекси. Естественным было возникновение вопроса: можно ли использовать поверхность Луны для решения проблемы дальности радиосвязи на УКВ, в частности телевидения?

Если бы поверхность Луны идеально отражала радиоволны, так как, например, зеркальный шар отражает свет, то, используя Луну в качестве отражателя, можно было бы, послав из одного пункта Земли в направлении Луны узкий пучок радиоволн, принять отраженные лучи в другом пункте, находящемся на расстоянии тысяч километров от передающего. Правда, в этом случае из обоих пунктов должна быть геометрическая видимость Луны.

Однако поверхность Луны не является идеальным шарообразным отражателем радиоволн. На Луне существует большое количество гор, ложбин, «морей». Наличие неровностей на лунной поверхности привело бы к тому, что изображение было бы сильно искаженным. Кроме того, зона лунного приема все время смещалась бы по поверхности Земли вследствие относительного перемещения Луны и

Земли, и непрерывное использование аппаратуры было бы невозможным.

О другом решении проблемы дальности радиосвязи на УКВ сообщил в 1950 г. П. В. Шмаков. Его идея заключается в том, чтобы с помощью ракет послать в межпланетное пространство искусственный спутник Земли, который выполнял бы роль отражателя излучаемых с Земли радиоволн (фиг. 14). Для этого поверхность спутника должна иметь определенную, близкую к шару форму и большой коэффициент отражения. Коэффициентами отражения, близкими к единице, обладают металлические или металлизированные поверхности. Теоретические расчеты указывают на возможность создания такого спутника.



Фиг. 14. Рассеянные спутником Земли радиоволны облучат почти половину поверхности земного шара.

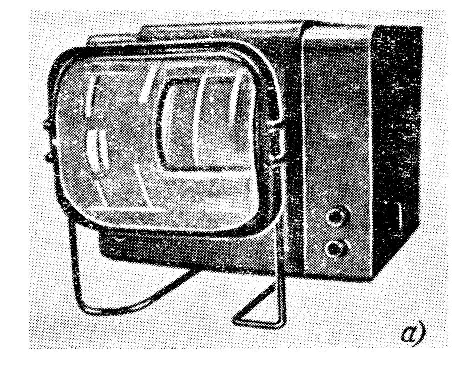
УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЭКРАНА

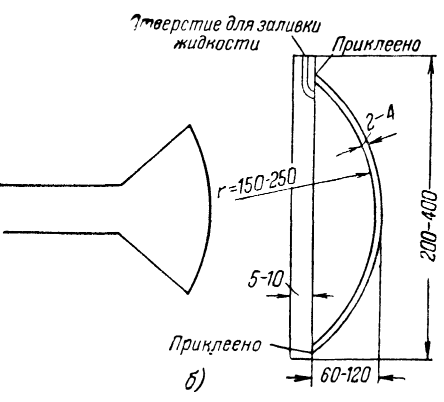
Трудно, конечно, определенно сказать, какой величины должен быть экран домашнего телевизионного приемника, так как, помимо индивидуальных особенностей помещения и числа зрителей, сюда входят и экономические соображения. Ясно, что приемник с большей трубкой требует ряда дорогостоящих деталей, сложнее в производстве, а потому дороже. В общем, вряд ли целесообразно для домашних приемников увеличение диаметра электронно-лучевой трубки больше чем до 30—40 *см* (изображения соответственно 20 × 26 *см*² и 27 × 35 *см*²).

Одним из простейших способов увеличения видимых размеров экрана является использование свойства выпуклых оптических линз создавать увеличенные изображения предметов. Линза устанавливается перед экраном телевизи-

онного приемника с небольшой приемной трубкой (фиг. 15,*а*), и наблюдение экрана производится через линзу. Для того чтобы отсутствовали искажения изображения, диаметр линзы должен быть больше диаметра трубки. Изготовление подобных линз из стекла чрезвычайно дорого, потому нашей промышленностью освоены штампованные линзы из органического стекла (плексигласа).

Эти линзы склеиваются из двух тонкостенных (3—4 *мм*) заготовок, выштампованных из листового плексигласа. Склеенные заготовки образуют пустотелую плоско-выпуклую линзу. В пространство между передней и задней поверхностями заливают жидкость, для того чтобы создать оптически однородную среду. Если показатель преломления света в жидкости будет равен показателю преломления в плексигласе, то вся система будет оптически однородной, т. е. как бы изготовленной из одного материала. Последнее необходимо для расширения угла, под которым можно наблюдать неискаженное изображение, для уменьшения световых потерь и сохранения высокой контрастности. В качестве подходящих жидкостей используют дистиллированную воду, вазелиновое масло, глицерин и др. На фиг. 15,*б* показано устройство подобной линзы.





Фиг. 15. Для увеличения видимых размеров экрана перед телевизором устанавливается выпуклая линза *а*; *б* — конструкция пустотелой линзы из органического стекла.

С помощью линз линейные размеры изображений удается увеличивать в 1,5 — 2 раза, т. е. при рассматривании

изображений на экране трубки с диаметром 17 *см* создается впечатление наблюдения изображения на экране трубки с диаметром примерно 30 *см.*

Описанный способ увеличения видимых изображений позволяет наблюдать изображения с большого расстояния. Однако, увеличения числа зрителей, одновременно наблюдающих изображение, практически не достигается, так как для зрителей, наблюдающих под большими углами, появляются геометрические искажения изображений и ухудшается четкость. Кроме того, при наблюдении через линзу яркость видимого изображения и контрастность понижаются.

Таким образом, использование линз в полной мере не решает проблему увеличения размеров экрана, тем более что для коллективного просмотра телевизионных программ в клубах, домах культуры и т. п. необходимо значительное увеличение экрана.

Можно наметить три основных направления, в которых развивается проблема получения телевизионных изображений на больших экранах: 1) увеличение размеров экранов приемных электронно-лучевых трубок; 2) оптическое увеличение изображений, получаемых на экранах приемных трубок малого размера, и 3) диаскопическая проекция изображений, когда принятое изображение управляет величиной светового потока мощного независимого источника света.

Рассмотрим подробнее эти способы.

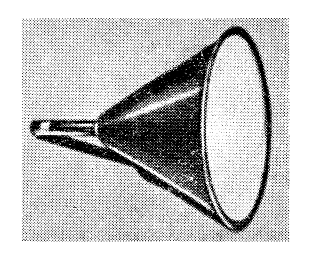
ТРУБКИ С БОЛЬШИМ ЭКРАНОМ

Нормальная работа электронно-лучевой трубки, как и всякого электровакуумного прибора, обеспечивается только в том случае, когда внутри создано большое разрежение. Современная вакуумная техника добилась содержания остатков газа в трубках, в миллионы раз меньшего, чем содержание воздуха в окружающем нас пространстве. Окружающий воздух давит на тела с силой, пропорциональной величине поверхности; давление на 1 *см*^{2} составляет, как известно, 1 *кг*. Если удалить воздух из замкнутого объема, то стенкам приходится выдерживать повышенное давление. Так, например, стенки типовой приемно-усилительной лампы выдерживают давление порядка десятков килограммов. Поверхность приемной трубки с диаметром экрана 15 — 20 *см*, испытывают давление в несколько сот килограммов.

Форму больших электровакуумных приборов для придания им большей прочности приближают к шарообразной,

устраняют острые изгибы граней и т. п. Поэтому, по мере увеличения размеров экрана, конструкторам приходится решать все более сложные задачи по обеспечению необходимой прочности.

В последнее время разработаны конструкции приемных трубок, у которых бóльшая часть поверхности изготовляется из металла (фиг. 16). Стеклянными остаются только передняя поверхность и узкая горловина, где расположена электронная пушка. Трубки с металлическим кожухом, при массовом производстве, должны стоить дешевле стеклянных; вес трубок также уменьшается. Важным достоинством металлических трубок является возможность изготовления более плоского, чем в стеклянных трубках, экрана. Использование указанных трубок позволит создать приемники с размерами экранов до 30×40 *см*^{2}.



Фиг. 16. Приемная электронно-лучевая трубка с металлической колбой.

При изготовлении трубок с большим экраном особое внимание приходится уделять вопросу их долговечности. Рассмотрим усовершенствования, которые вводятся в конструкции трубок для увеличения срока службы и повышения их качества.

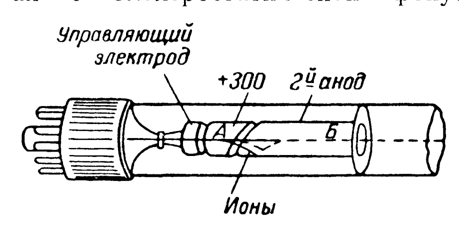
Улучшение свойств трубок. В электронно-лучевых трубках после откачки воздуха все же остаются в малом количестве остатки газа. Электроны, устремляясь с большой скоростью к экрану, сталкиваются на своем пути с атомами газа и нарушают их нейтральное электрическое состояние. Часть атомов приобретает электроны, превращаясь в отрицательно заряженные ионы. Атомы, потерявшие электроны, превращаются в положительные ионы.

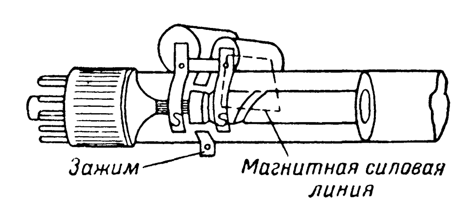
Отрицательные ионы, как и электроны, устремляются к экрану, а положительные ионы возвращаются на катод. Бомбардировка катода положительными ионами приводит к тому, что его поверхность разрушается быстрее.

Если отклонение луча в трубке производится электростатическими полями, то отрицательные ионы отклоняются под такими же углами, как и электроны, и в этом случае рабобота трубки не нарушается. Но при отклонении луча магнитным полем, что имеет место в большинстве современных приемных трубок, угол отклонения обратно пропорционален массе частиц (точнее, корню квадратному из массы). Так

как масса иона в 1 800 раз больше массы электрона, то ионы отклоняются значительно меньше, чем электроны, и подвергают бомбардировке только центральную часть экрана, что приводит к преждевременному ее потемнению. Темный круг в центре экрана называют ионным пятном.

Следует заметить, что в трубках с магнитной фокусировкой ионное пятно проявляется иначе, нежели в трубках с электростатической фокусировкой, ибо условия наилучшей фокусировки магнитным полем неодинаковы для электронов и ионов — также вследствие различия их масс. Поэтому ионы рассеиваются на большей поверхности.



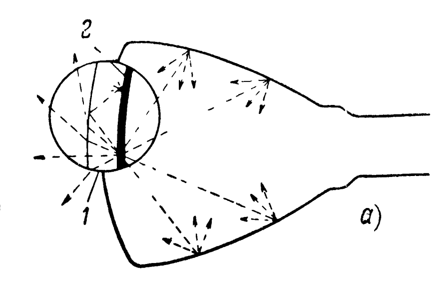


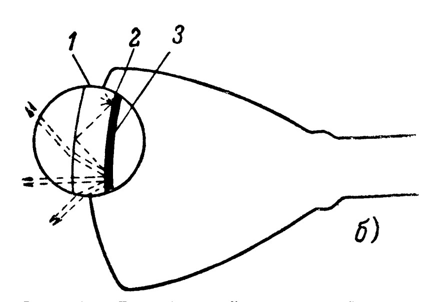
Фиг. 17. Конструкция ионной ловушки (для ясности на верхнем рисунке магниты не изображены).

Появление ионного пятна, естественно, сокращает срок службы приемной трубки. Поэтому были разработаны различные приспособления для его предотвращения, — так называемые ионные ловушки, которые требуют дополнительного усложнения конструкции трубок. Для иллюстрации расмотрим одну из таких ловушек.

Для улавливания ионов из пучка применяется комбинация из несимметричных отклоняющих полей: магнитного поля, создаваемого специальным внешним магнитом, и электростатического поля, создаваемого двумя цилиндрическими электродами — *А* и *Б* — со скошенными краями (фиг. 17). На электроды *А* и *Б* подается положительное напряжение, причем потенциал *Б* во много раз превышает потенциал *А*. Электроны и ионы, пройдя управляющий электрод, устремляются в направлении экрана, однако благодаря косому срезу электродов *А* и *Б* траектория пучка изгибается в направлении к *Б*, как показано на верхнем рисунке фиг. 17. Если бы не было других полей, то электроны и ионы попали бы на электрод *Б*, не достигнув

экрана. Однако сверху на горловину трубки надеваются магниты с выступающими полюсными наконечниками так, что силовые линии магнитного поля направлены горизонтально и пересекают направление движения электронов Такое магнитное поле заставит электроны (и ионы) отклониться в вертикальном направлении в соответствии с известным из электротехники правилом правой руки. Так как ионы обладают значительно большей массой, то отклоняющее действие на них магнитного поля будет ничтожным, и они все же упадут на *Б*, тогда как траектория движения электронов выпрямляется. Таким образом, ионы улавливаются, минуя экран.





Фиг. 18. В обычной приемной трубке *(а)* световой поток распространяется равномерно во все стороны. В трубке с металлизированной внутренней поверхностью экрана *(б)* свет от экрана внутрь трубки не попадает.

1 — увеличенные изображения участка экрана; *2*—флуоресцирующее вещество экрана, *3*—тонкая металлическая пленка.

Другое усовершенствование, примененное в трубках для повышения их светоотдачи и устранения ионного пятна, заключается в покрытии внутренней поверхности экрана тонкой металлической (алюминиевой) пленкой.

В приемных трубках световой поток, излучаемый экраном, попадает также внутрь трубки на поверхность колбы, где он частично поглощается нанесенным на нее темным покрытием, а частично отражается (фиг. 18,*а*). После одного или нескольких отражений свет попадает снова на экран, производя эффект равномерного его засвечивания, что равносильно наличию в помещении света. Как известно, внешнее освещение уменьшает контрастность изображения на экране трубки.

Если покрыть поверхность экрана очень тонкой, отражающей свет металлической пленкой (практически, толщи-

на пленок в зависимости от высокого ускоряющего напряжения достигает 50—500 миллионных долей миллиметра), то при достаточной скорости электроны пробьют пленку и вызовут свечение экрана. Наличие пленки не даст возможности световому потоку проникнуть внутрь колбы; свет отразится от пленки, следовательно светоотдача увеличится почти вдвое (фиг. 18,*б*). Кроме того, контрастность не будет уменьшаться за счет попадания на экран света, отраженного от внутренних стенок колбы.

Дополнительными преимуществами металлизации поверхности экрана являются лучшее использование ускоряющего высокого напряжения и отсутствие ионного пятна. Тяжелые ионы, в отличие от легких электронов, не могут пробить металлическую пленку и задерживаются, не достигнув экрана.

При больших скоростях бомбардирующих электронов, в обычных трубках, количество вырвавшихся из экрана вторичных электронов меньше, чем количество падающих. Избыток электронов приводит к тому, что весь экран заряжается несколько отрицательно относительно потенциала ускоряющего электрода и тормозит подходящие к нему быстрые электроны. При этом потенциал экрана снижается до такого значения, при котором количество вторичных электронов равно количеству падающих. Это аналогично неполному использованию высокого ускоряющего напряжения. При наличии металлической проводящей поверхности тормозящего действия экрана не наблюдается.

ОПТИЧЕСКАЯ ПРОЕКЦИЯ

Простым способом увеличения размеров изображений является их проекция с помощью оптических устройств, например обычного проекционного объектива, подобно тому как это имеет место в любом кинопроекционном аппарате.

Если бы яркость изображений на экранах электронно-лучевых трубок можно было произвольно увеличивать, то при практическом осуществлении проекции не возникало бы никаких трудностей. В этом случае на большом экране можно было бы создать требуемую освещенность независимо от увеличения. Если же яркость на экране приемной трубки не увеличивается, то световой поток, попадающий в объектив, распределится на большей площади, и яркость поверхности большого экрана будет тем меньше, чем больше его площадь по сравнению с площадью изображения на

экране трубки. Увеличивая, одновременно с ростом площади экрана, яркость свечения трубки, мы тем самым добьемся того, что освещенность большого экрана останется достаточной для наблюдения. Однако несколько причин препятствует увеличению яркости свечения экрана приемной трубки.

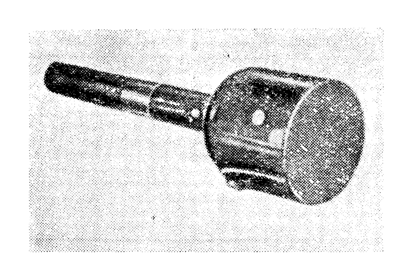
Известно, что яркость участка экрана, бомбардируемого электронным пучком, пропорциональна току пучка. В распространенных приемных трубках токи электронных пучков составляют 50—200 *мка*. Ясно, что современная электровакуумная техника имеет возможность значительно повысить ток эмиссии и, следовательно, ток пучков. Но задача состоит в том, чтобы при увеличении тока не увеличивался диаметр светового пятна на экране, так как иначе понизится четкость изображения. Следовательно, вместе с увеличением количества электронов, проходящих через поперечное сечение пучка, площадь сечения не должна увеличиваться, т. е. должна возрасти п л о т н о с т ь электронного пучка. Если же вместе с ростом количества электронов пропорционально возрастет и площадь поперечного сечения пучка, то яркость поверхности не увеличится, так как на единицу поверхности экрана попадет то же количество электронов.

Увеличению плотности электронного пучка препятствуют силы взаимного расталкивания, действующие между электронами. После фокусировки на электроны не действуют больше силы, заставляющие их концентрироваться, и за время пролета от фокусирующей катушки до экрана электронный пучок несколько расширяется. Если сократить время пролета, то электроны успеют меньше разойтись. Этого можно достигнуть, увеличив скорость движения электронов, т. е. повысив ускоряющее напряжение. Повышение ускоряющего напряжения увеличивает и энергию электронов, что также приводит к повышению яркости экрана. Таким образом, увеличение яркости экрана достигается за счет увеличения ускоряющего напряжения и повышения тока пучка.

Выполнение высоковольтных источников питания для проекционных трубок сопровождается усложнением схемы и конструкции приемника, повышает его стоимость. Так, например, для проекции изображений на большой экран были изготовлены трубки, работающие при токе пучка порядка 2 *ма* и ускоряющих напряжениях около 80 000 *в*. Для обслуживания приемника с подобной трубкой необходим квалифицированный оператор. Срок службы трубки составляет всего несколько десятков часов.

В дальнейшем при разработке проекционных приемников удалось несколько уменьшить величину ускоряющих напряжений. Например, в трубках, у которых экран покрыт тонкой алюминиевой пленкой, достаточную яркость экрана удается получить при напряжениях около 30 000 *в* и токах пучка порядка 600 *мка*. Одна из таких трубок с диаметром 12 *см* изображена на фиг. 19.

Яркость большого экрана зависит также и от оптических свойств проекционного объектива. Мерой способности объектива создавать на экране яркие изображения является так называемое относительное отверстие (отношение диаметра объектива к фокусному расстоянию). Тот объектив создаст более яркое изображение, у которого относительное отверстие больше. Действительно, светящаяся поверхность трубки рассеивает свет по всем направлениям, и только часть светового потока попадает в объектив. Ясно, что чем больше диаметр объектива, тем больше света попадет в него от экрана трубки. Чем меньше фокусное расстояние, тем ближе к трубке можно расположить объектив и тем больший световой поток попадет в объектив. У применяемых высококачественных проекционных объективов относительные отверстия составляют $^1/_{1,2}$—$^1/_{1,5}$. Освещенность большого экрана прямо пропорциональна квадрату относительного отверстия.



Фиг. 19. Проекционная приемная трубка с диаметром экрана 12 *см*.

Часть света поглощается и рассеивается в объективе. Отношение пропущенного светового потока к падающему в объектив называется **коэффициентом прозрачности**. Коэффициент прозрачности у применяемых объективов порядка 0,5.

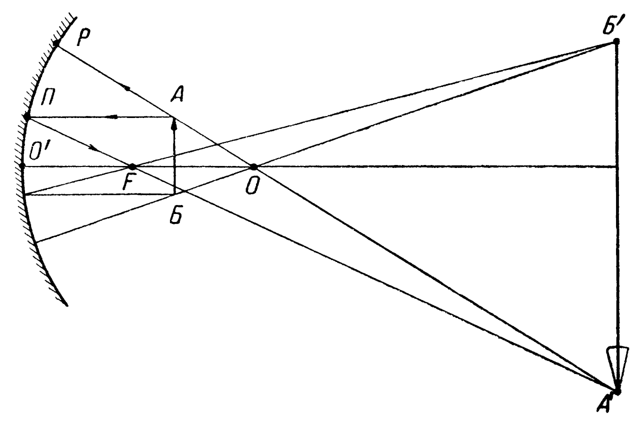
Таким образом, второй возможностью повышения яркости большого экрана или увеличения его размеров является улучшение свойств оптической проекционной системы. Например, если бы вместо относительного отверстия, равного $^1/_{1,5}$ и коэффициента прозрачности 0,5 удалось создать проекционную систему с соответствующими параметрами, равными $^1/_{0,6}$ и 0,8, то это было бы равносильно **десятикратному** увеличению освещенности проекционной труб-

ки. Увеличение светосилы объективов может быть получено либо путем увеличения действующего диаметра линз, либо путем использования линз с большей кривизной. И в том, и в другом случаях очень сильно возрастают всевозможные искажения (аберрации). Устранение аберраций достигается путем введения корректирующих линз, т. е за счет ухудшения прозрачности и других свойств. Рассчитать и сконструировать объектив, по мере увеличения светосилы, очень трудно.

ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ ОПТИКА

Применение так называемой отражательной проекционной оптики позволяет существенно улучшить светотехнические свойства проекционных систем.

Отражательная проекционная оптика основана на способности вогнутого сферического зеркала создавать увеличенные изображения предмета, если последний находится



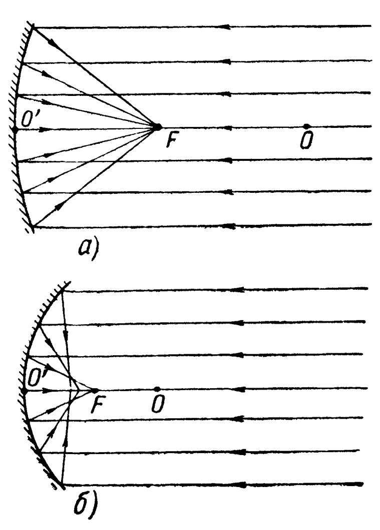
Фиг. 20. Построение изображения, образованного вогнутым сферическим зеркалом.

перед зеркалом между фокусом F и центром кривизны зеркала O. На фиг. 20 выполнено такое построение. Перед зеркалом находится предмет $АБ$. Изображение этого предмета найдем, пользуясь двумя лучами (для каждой точки предмета): одного — $АР$, падающего в направлении, совпадающем с радиусом, и другого — $АП$, параллельного оси. Луч $АР$ отразится в том же направлении, ибо, как известно, радиус перпендикулярен касательной к окружности в дан-

ной точке. Луч *АП* отразится в направлении, проходящем через точку *F*, находящуюся от поверхности зеркала на расстоянии, равном половине радиуса кривизны. Лучи *ПF* и *РО* пересекутся в точке *А'*. Аналогично строим точку *Б'* (или любую другую точку между *А'* и *Б'*).

Из рассмотрения фиг. 20 видно, что изображение предмета получается увеличенным, подобно тому как это имеет место при использовании линзы или объектива.

Если на сферическое зеркало падает параллельный пучок лучей, причем диаметр зеркала мал по сравнению с радиусом кривизны, то можно считать, что все лучи соберутся после отражения в одной точке, называемой главным фокусом сферического зеркала (фиг. 21,*а*). Главный фокус находится на середине между центром кривизны и поверхностью зеркала. Зеркальную оптическую систему можно выполнить с чрезвычайно большим относительным отверстием, однако при этом параллельные пучки лучей не соберутся в одну точку; лучи, падающие на периферические зоны зеркала, после отражения пересекут ось на расстояниях, ближе примыкающих к зеркалу, чем фокусное расстояние *O'F* (фиг. 21,*б*). Если в фокусе такого зеркала с большим относительным отверстием поместить экран, то вместо резкой светящейся точки на экране получится широкое световое пятно. Это явление называется с ф е р и ч е с к о й а б е р р а ц и е й.

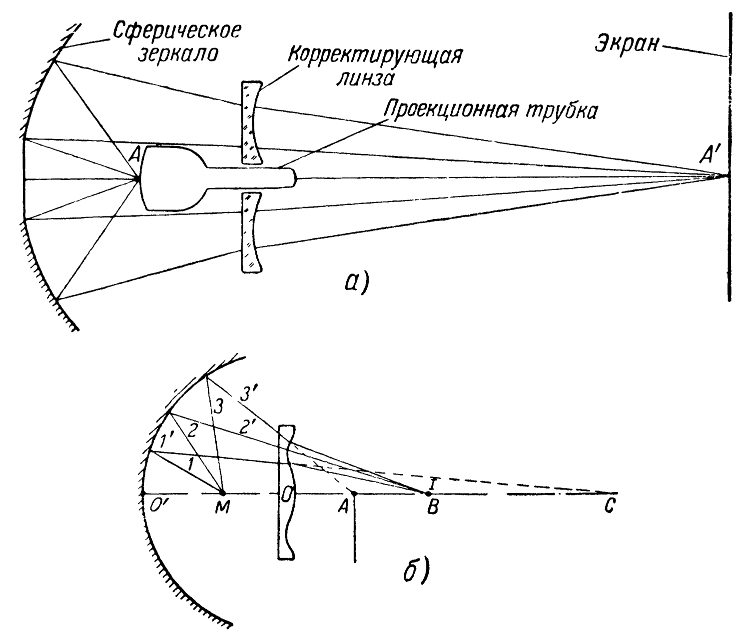


Фиг. 21. Параллельные лучи собираются вогнутым сферическим зеркалом в одну точку, если относительное отверстие зеркала не очень велико.

Невозможность получения резких изображений при использовании светосильного сферического зеркала и явилась причиной, по которой подобные системы имели сравнительно малое распространение.

Второй особенностью сферического зеркала является так называемая к р и в и з н а п о л я и з о б р а ж е н и я. Кривизна поля изображения проявляется в том, что плоский

предмет, помещенный перед зеркалом, подобно тому как это показано на фиг. 20, в действительности изобразится не в плоскости, проходящей через точки A', $Б'$, а на поверхности сферы. Говоря о сферическом зеркале применительно к проекции телевизионных изображений, этот недостаток не следует считать существенным. Если вместо плоского пред-



Фиг. 22. Схема оптической проекционной системы с вогнутым сферическим зеркалом и корректирующей линзой *(а)* и исправление сферической аберрации вогнутого сферического зеркала с помощью корректирующей линзы *(б)*.

мета *АБ* поместить перед зеркалом экран электронно-лучевой трубки и придать ему форму, близкую к сферической, с выпуклостью, обращенной в сторону зеркала, как это показано на фиг. 22,*а*, то кривизна самого объекта компенсирует кривизну поля изображения.

Рассмотрим распространенную проекционную систему для увеличения телевизионных изображений, в которой осуществлено исправление сферической аберрации зеркала. Этот способ основан на использовании специальной корректирующей линзы, помещаемой перед зеркалом в плоскости, проходящей через центр кривизны. Расположение коррек-

тирующей линзы и ее профиль видны из рассмотрения фиг. 22,*б;* там же показано корректирующее действие линзы.

В точке *M* расположен источник света. Рассмотрим несколько лучей, участвующих в построении изображения этой точки. Один из лучей — *1* падает на зеркало близко от центра, луч *2* — несколько дальше и луч *3* — на периферию. Отраженные лучи обозначены соответственно: *1'*, *2'* и *3'*. Если бы не было корректирующей линзы, резкое изображение точки *M* отсутствовало бы, так как каждый из рассматриваемых нами лучей пересек бы ось в разных точках — *A*, *B* и *C*. Поверхность линзы выполнена так, что отраженные от центральной зоны зеркала лучи, создающие изображение вблизи точки *C*, преломляются линзой и пересекают ось ближе, т. е. центральные лучи попадают на тот участок поверхности линзы, где она подобна по действию выпуклой собирающей линзе. Луч *2'* проходит линзу, не преломляясь, а луч *3'* от периферической зоны попадает на поверхность корректирующей линзы в той области, где ее действие подобно действию вогнутой рассеивающей линзы, и пересекает ось не в точке *A*, а также в точке *B*, т. е. дальше от зеркала. Таким образом, в точке *B* мы получаем резкое изображение точки *M*.

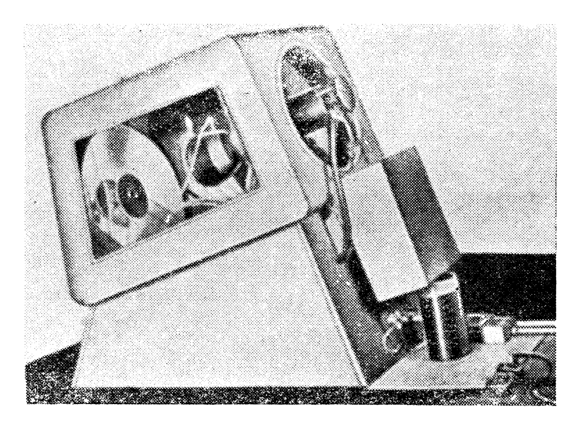
Использование в проекционном телевидении вогнутого сферического зеркала совместно с корректирующей линзой позволяет значительно улучшить светотехнические характеристики системы и добиться почти десятикратного выигрыша по сравнению с проекцией при помощи объектива. Кроме того, что относительное отверстие отражательной оптики удается сделать бóльшим, чем у объективов (до $^1/_{0,6}$ — $^1/_{0,8}$), коэффициент прозрачности рассматриваемых систем также больше (до 0,8). Последнее объясняется тем фактом, что в отражательной проекционной системе меньше стеклянных поверхностей, расположенных на пути лучей света, чем в сложных светосильных объективах, а каждая поверхность частично рассеивает свет.

В опытных проекционных установках отражательная оптика применялась для получения не только средних по размерам изображений (начиная с 30×40 *см*²), но также для получения телевизионных изображений на весьма больших театральных экранах с размерами до 10 *м*². Один из опытных театральных проекторов изображен на фиг. 23. В центре корректирующей линзы имеется отверстие, в которое вставляется горловина электронно-лучевой трубки.

Экран трубки обращен к зеркалу и находится на расстоянии от его поверхности примерно равном фокусному.

Конструкция одного из приемников с экраном размером 37×75 *см*^{2} приведена на фиг. 24. Экран вмонтирован в верхней откидной крышке. Диаметр электронно-лучевой трубки — 10 *см*, диаметр зеркала — 30 *см*, радиус кривизны зеркала — 27 *см*.

Чтобы предотвратить вредный засвет поверхности экрана трубки отраженным от зеркала светом, приводящим к снижению контрастности изображения, центральная часть



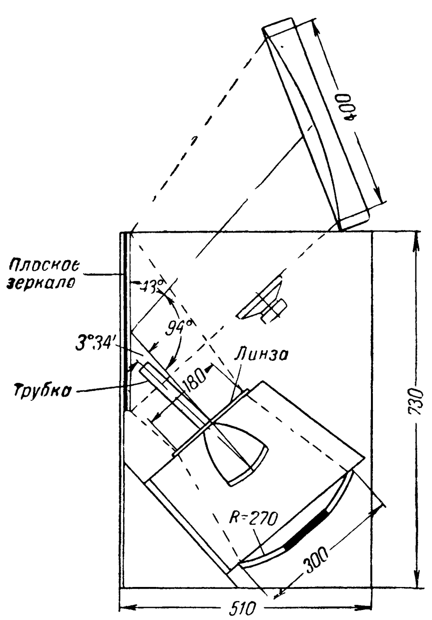
Фиг. 23. Опытный телевизионный театральный проектор, создающий изображение размером $4{,}6 \times 3{,}7$ *м*^{2} (схема оптической проекции поясняется на фиг. 22,*а*).

зеркала покрывается плохо отражающей черной краской (иногда центральная часть зеркала вырезается).

Для создания достаточного по величине изображения, при данном фокусном расстоянии системы, между поверхностью зеркала и поверхностью зрительного экрана должно быть достаточно большое расстояние, в частности в рассматриваемой конструкции это расстояние составляет около 1,5 *м*. Для того чтобы приемник был наиболее компактным и по внешней форме совпадающим с общепринятыми конструкциями, осуществляется излом оптической оси, при котором полутораметровое расстояние между зеркалом и экраном обеспечивается в ящике с меньшей высотой. При этом оптическая система устанавливается так, что свет от вогнутого зеркала отбрасывается в направлении передней

стенки ящика, где установлено плоское зеркало, которое меняет направление лучей, отражая их в сторону экрана.

Принципиально, экран может быть плоским и изготовленным из любого материала, рассеивающего свет, например полотна, покрытого тонким слоем мела. В этом случае экран рассеивает свет равномерно по всем направлениям передней полусферы и ясно, что большая часть светового потока не используется, так как зрители располагаются обычно в довольно узком телесном угле перед экраном.



Фиг. 24. Расположение проекционной системы в приемнике.

Фиг. 25. Направленный экран рассеивает свет не равномерно во все стороны, а лишь в узком телесном угле.

Часто применяют специальные конструкции так называемых направленных экранов, концентрирующих рассеиваемый свет в узком телесном угле. Если рассматривать такой экран сбоку, изображение кажется неярким, а при рассматривании под углами, близкими к прямым, — ярким. На фиг. 25 показано, что экран обладает направленностью в горизонтальной плоскости 60° и направленностью в вертикальной плоскости 20°. Зрители, «вписанные» в эти углы, увидят яркие изображения.

Направленность достигается за счет покрытия поверхности экрана особым веществом, которое образует структуру в виде большого количества вогнутых зеркал, расположен-

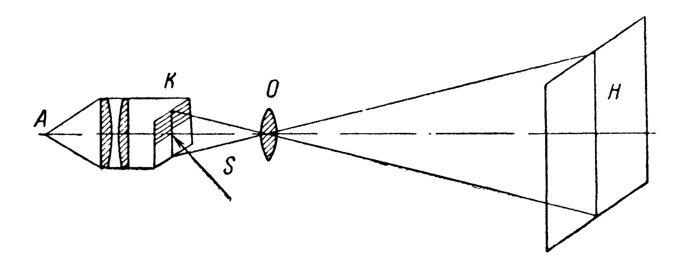
ных близко друг к другу и концентрирующих отражаемые световые пучки. Простейшим покрытием, создающим направленность, является алюминиевый порошок.

В проекционных телевизионных приемниках иногда используют искусственные многоячейковые отражающие экраны. Для этого на полированной поверхности экрана выдалбливают большое количество углублений, число которых должно быть столь велико, чтобы с расстояния нормального рассматривания ячейки не различались. За счет особой формы углублений можно достигнуть различной направленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях, т. е. получить больший светотехнический выигрыш.

Направленные экраны позволяют увеличить кажущуюся яркость в одном направлении за счет уменьшения кажущейся яркости в других направлениях. Это эквивалентно повышению яркости экрана электронно-лучевой трубки или увеличению светосилы проекционной системы.

ДИАСКОПИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Представляют интерес проекционные системы телевидения с использованием независимого источника света — так называемые диаскопические системы. Схема проекционного устройства в этом случае (фиг. 26) совершенно



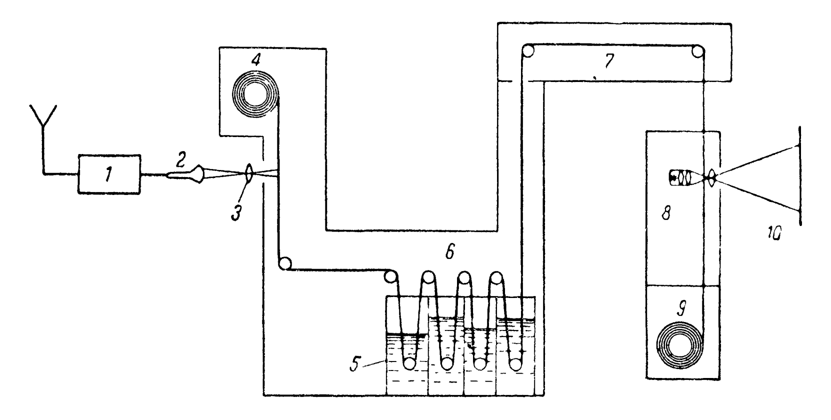
Фиг. 26. Принципиальная схема диаскопической проекционной системы.

А — источник света; *К* — полупрозрачное телевизионное изображение; *S* — электронный пучок; *О* — объектив; *Н* — экран.

аналогична схеме кинопроекционного аппарата. При такой схеме освещенность экрана зависит от световой мощности источника света. Используя интенсивные источники, например, дуговую лампу, можно, как известно, получать изображения, размеры которых достаточны для обслуживания многотысячной аудитории.

Существуют приемные телевизионные установки, в которых изображение на экране приемной трубки фотографируется на кинопленку и автоматически быстро обрабатывается (фиг. 27). Готовый кинофильм можно через 1,5—2 мин. после приема, демонстрировать с помощью обычного кинопроекционного аппарата. Однако, такие установки из-за большой сложности широкого распространения не получили.

Несомненные выгоды диаскопических методов уже давно привлекают к себе внимание многих инженеров и ученых, стремящихся разработать оконечное устройство для моду-



Фиг. 27. Схема приемной проекционной установки с промежуточным фильмом.

1 — приемник; *2* — электронно-лучевая трубка; *3* — объектив; *4* — кассета с пленкой; *5* — растворы для обработки пленки; *6* — проявочная машина; *7* — сушильный шкаф; *8* — кинопроекционный аппарат; *9* — приемная кассета, *10* — экран.

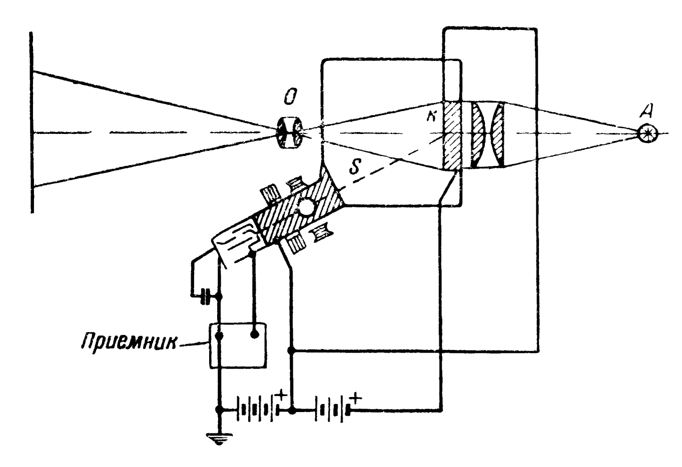
ляции независимого источника света. Так, еще в 1925 г. акад. А. А. Чернышев впервые предложил электронную телевизионную систему, способную модулировать независимый источник света. Однако трудности, встречающиеся на пути практического осуществления подобных систем, задерживают их распространение.

Познакомимся с характерными особенностями диаскопических систем.

Модулятор представляет собой электронно-лучевую трубку особой конструкции, в которой прозрачный экран из специального вещества облучается модулированным по интенсивности электронным пучком. Экран обладает способностью становиться непрозрачным при облучении электронами

и затем, перед следующим облучением, быстро восстанавливаться.

Давно уже известно, что ионные кристаллы, например поваренная соль, хлористый калий, бромистый калий и др., которые нормально являются прозрачными, под воздействием электронных лучей становятся в точке облучения непрозрачными. Интенсивность помутнения зависит от интенсивности электронного луча. Если кристалл поместить в электрическом поле между двумя электродами, то непрозрачный осадок начнет перемещаться в толще кристалла по



Фиг. 28. Схема проекции с использованием диаскопической электронно-лучевой трубки.

А — источник света; *О* — объектив; *К* — кристалл; *S* — электронный пучок.

направлению к аноду. Когда он достигнет анода, кристалл становится снова прозрачным.

Из рассмотрения фиг. 28 видно, что кристаллический экран *К* в схеме проекции помещается на пути световых лучей. Кроме того, экран помещен внутри трубки, из которой откачан воздух, и может облучаться электронным пучком, создаваемым обычной электронной пушкой. Перемещение луча (развертка) осуществляется обычным путем, так же как и в приемных электронно-лучевых трубках.

Экран выполнен в виде очень тонкого плоского кристалла. Для создания электрического поля к двум поверхностям кристалла необходимо приложить напряжения; поэтому с обеих сторон на него наносят две тончайшие прозрачные металлические пленки.

Электронный пучок S модулируется принятыми видеосигналами так же, как и в обычных приемных трубках. При перемещении модулированного электронного луча интенсивность возникшего потемнения в каждой данной точке экрана пропорциональна силе модулирующего сигнала. С помощью объектива на большом экране получается увеличенное изображение. В этом модуляторе осуществляется оптическое накопление, так как прозрачность каждого элемента изображения остается неизменной весь кадровый период. Световое ощущение от каждого элемента здесь непрерывно, тогда как в системах без накопления экран освещается мгновенно, а глаз за счет зрительной памяти сохраняет ощущение весь кадровый период. В последнем случае кажущаяся яркость изображения значительно уменьшается.

Время передвижения непрозрачного осадка к аноду регулируется силой электрического поля и окружающей температурой. Для обеспечения нормальной контрастности изображения желательно, чтобы помутнение не прекращалось до следующего облучения данного участка, т. е. чтобы время движения осадка равнялось кадровому периоду. За такое, сравнительно большое время помутнение успевает распространиться не только в глубину, но и охватывает соседние участки вещества; это эквивалентно понижению четкости изображения.

Четкость можно увеличить, уменьшив толщину кристаллической пластинки, однако при этом уменьшается контрастность. Другим недостатком устройства является зависимость времени движения осадка от интенсивности помутнения, т. е. от величины видеосигнала.

Несмотря на то, что возможность использования электронной бомбардировки ионных кристаллов для модуляции проходящего света известна уже давно, многочисленные экспериментальные исследования в этой области не привели еще к созданию качественной телевизионной трубки.

В настоящее время разрабатываются модуляторы, основанные на других физических явлениях, например на явлении механической деформации тонкой пленки вязкой жидкости под воздействием электронной бомбардировки. Прежде чем попасть на пленку, свет от постороннего источника пропускают через решетку, составленную из чередующихся прозрачных и непрозрачных полос. Искривление поверхности пленки пропорционально интенсивности электронного пучка. Световые лучи, проходящие через пленку, в зависимости от величины ее искривления в различной степени

отклоняются от своей оси. Между пленкой и экраном установлена вторая решетка, аналогичная первой. Когда искривление отсутствует, вторая решетка прикрывает свет, прошедший через первую, и свет на большой экран не попадает. При наличии искривления, в зависимости от его величины, на экран попадает большее или меньшее количество света. В таком модуляторе достигнуты лучшая четкость и контрастность изображений, чем при использовании ионных кристаллов.

По всем данным, в ближайшее время проблема большого экрана будет успешно разрешена.

ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Еще задолго до того как телевидение обогатилось всеми современными техническими средствами, мысли многих ученых и инженеров были направлены на разработку методов передачи и приема изображений в естественных цветах.

В 1925 г. советским инженером И. А. Адамианом была впервые предложена электрическая система передачи изображений в натуральных цветах. Предложение И. А. Адамиана, основанное на принципе последовательной передачи трех цветов и содержавшее все характерные черты современных систем цветного телевидения, оказалось возможным осуществить спустя много лет, когда в радиотехнике и в области создания электровакуумных телевизионных приборов были достигнуты определенные успехи.

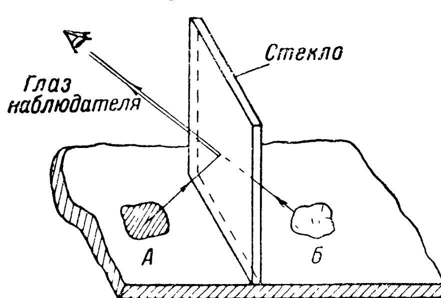
Прежде чем познакомиться с системами цветного телевидения, рассмотрим некоторые вопросы учения о цвете.

СМЕШЕНИЕ ЦВЕТОВ

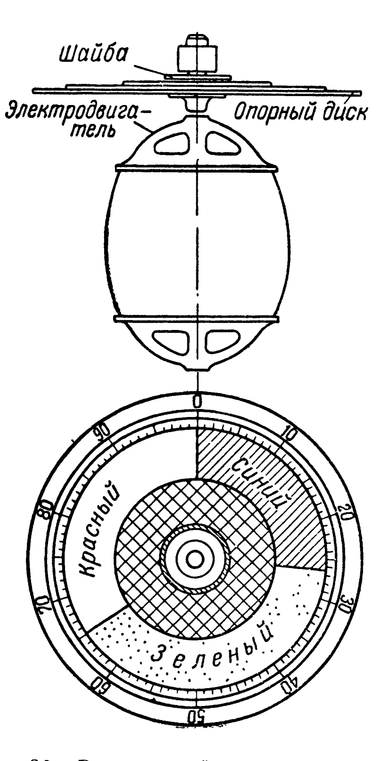
В результате сложения световых лучей, отличающихся между собой по цвету, у наблюдателя возникает ощущение нового цвета, не похожего на складываемые цвета. Так, например, при сложении красных и зеленых лучей возникает ощущение рассматривания бледножелтого цвета; сложение желтого и голубого цветов дает бледнозеленый цвет и т. д. Делая один из складываемых цветов более интенсивным, мы тем самым будем изменять результирующий цвет. В этом можно убедиться на основании простого опыта. Поставим вертикально на темную поверхность пластину прозрачного зеркального стекла. По обе стороны стекла поместим две различные цветные бумажки (*А* и *Б* на фиг. 29).

Тогда, глядя сбоку на стеклянную поверхность, мы сможем одновременно увидеть обе бумажки: одну — через стекло, а другую, — отраженной от передней поверхности стекла. Цветовое ощущение при рассматривании не будет соответствовать цвету какой-либо одной из бумажек.

При изменении положения глаза результирующий цвет будет меняться, так как меняются относительные интенсивности складываемых цветов. Это происходит потому, что отношение пропущенного и отраженного света зависит от угла падения лучей, а при изменении положения глаза углы изменятся. При сложении двух цветов изменением их относительных количеств можно получить очень много других цветов. Так, например, из красного и зеленого получим: зеленый, желтовато-зеленый, желтый, оранжевый, красновато-оранжевый и красный.



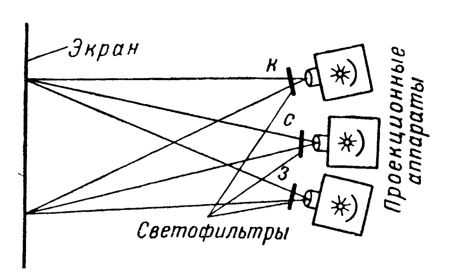
Фиг. 29. Опыт, иллюстрирующий одновременное смешение цветов.



Фиг. 30. Вращающийся диск для последовательного смешения цветов.

Сложением двух цветов нельзя добиться создания всех цветовых оттенков, встречающихся в природе, какими бы ни были смешиваемые цвета и каковы бы ни были их пропорции. Однако добавлением еще одного, третьего, цвета можно получить все цветовые оттенки. Возможность создания из трех цветов — любого иллюстрируется обычно опытом с вращающимся диском (фиг. 30). Диск укреплен на

валу электродвигателя и, по желанию, приводится во вращательное движение. На основном диске укреплены три цветных сектора: красный — *к*, зеленый — *з* и синий — *с* таким образом, что относительные величины секторов могут меняться (сумма площадей трех секторов всегда постоянна и равна площади диска). При быстром вращении диска перед глазом наблюдателя последовательно проходят все три цвета, и если скорость вращения превышает 10 об/сек, то раздельно увидеть цвета уже невозможно. Результирующий цвет зависит от соотношения площадей секторов, т. е. от относительных количеств цветов. Так, например, если цвета складываются в таком соотношении: 0,2*к* + 0,2*з* + 0,6*с*, то результирующий цвет — бледно-синий.



Фиг. 31. С помощью трех проекционных аппаратов, снабженных светофильтрами, можно получить на экране любой цвет.

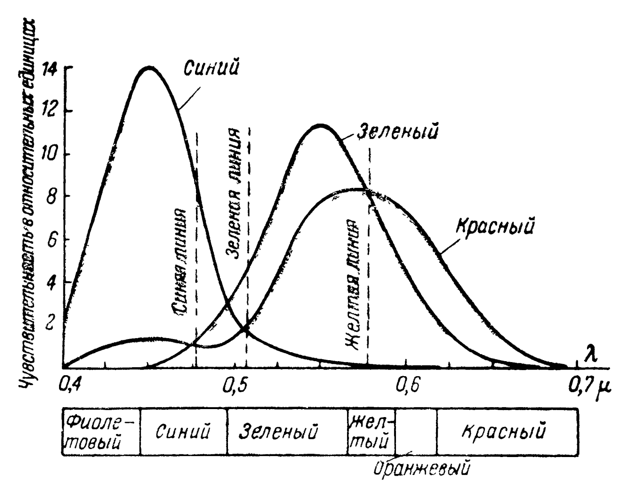
Сложение трех указанных цветов в соотношении (приблизительно) 0,37*к* + 0,27*с* + 0,36*з* даст в результате белый (точнее, серый) цвет. Таким образом, в результате последовательного сложения трех цветов: красного, зеленого и синего, называемых **основными**, могут быть получены все воспринимаемые глазом цветовые ощущения. Тот же результат можно получить, если складывать цвета одновременно, т. е. так же, как в опыте, иллюстрируемом фиг. 29. Например, для одновременного сложения трех цветов могут быть использованы три различных по цвету источника света, снабженные соответствующими цветными фильтрами (фиг. 31). Отбрасывая свет от трех источников на один экран и меняя интенсивность источников, мы будем получать различные цвета.

ЦВЕТНОЕ ЗРЕНИЕ

Каждому цвету соответствует колебание электромагнитной энергии с определенной длиной волны (монохроматическое излучение). Например, лучи красного цвета — это излучение с длиной волны $\lambda = 680$ *ммк* (миллимикрон), желтого — 580 *ммк*, зеленого — 510 *ммк*, синего — 430 *ммк* и т. д. Даст ли сложение двух лучей с длинами волн

680 *ммк* (красные) и 510 *ммк* (зеленые) лучи с длиной волны 580 *ммк*? Нет, не даст. Однако наши ощущения при одновременном воздействии красных и зеленых лучей соответствуют тем же ощущениям, которые возникают под воздействием лучей с длиной волны 580 *ммк* (желтого цвета).

Объяснение этого факта дает трехкомпонентная теория цветного зрения, изложенная впервые Ломоносовым в 1756 г. и впоследствии развитая Юнгом, Гельмгольцем и Лазаревым. Согласно этой теории цвето-



Фиг. 32. Кривые чувствительности глаза к основным цветам.

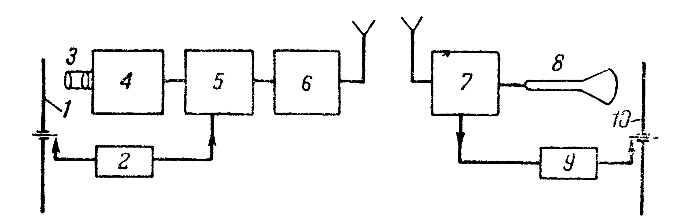
чувствительные элементы глаза состоят из трех сортов нервных окончаний; первые особенно сильно возбуждаются под действием красных лучей (и меньше под воздействием всех остальных лучей), вторые — под действием зеленых лучей, а третьи — под действием синих. Одинаково сильное возбуждение светом всех трех нервных окончаний дает ощущение белого света. Различные комбинации неодинаковых возбуждений нервных окончаний создают ощущения всех известных нам цветовых оттенков.

Чувствительность глаза к основным цветовым возбуждениям иллюстрируется кривыми на фиг. 32, где по оси абсцисс отложены длины волн возбуждающих монохроматических лучей, а по оси ординат — чувствительность глаза. Кривые показывают, что если, например, глаз возбуждается светом с длиной волны 520 *ммк*, то больше всего будут

возбуждаться нервные окончания, создающие впечатление зеленого цвета, меньше — красного цвета и еще меньше — синего цвета, т. е. кривые показывают, как слагается данное ощущение из трех основных. Из кривых также следует, что, смешав в определенной пропорции три основных цветовых раздражителя, мы можем получить ощущения любого цвета.

ДВА МЕТОДА ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

В основе любого метода цветного телевидения содержатся: принцип разложения цветного изображения на три одноцветных, соответствующих основным цветам (красному, зеленому и синему), преобразование трех изображений в элек-



Фиг. 33. Блок-схема телевизионной системы с последовательной передачей цветов.

1 и *10* — диски с светофильтрами; *2* и *9* — приводные механизмы, вращающие диски; *3* — объектив; *4* — студийная камера; *5* — усилитель; *6* — радиопередатчик; *7* — приемник; *8* — электроннолучевая трубка.

трические сигналы, передача этих сигналов к приемнику и преобразование принятых сигналов в цветное изображение. Известны два метода разложения и передачи сигналов цветного изображения: 1) метод с последовательным разложением и последовательной передачей сигналов и 2) метод с одновременным разложением и одновременной передачей сигналов. В последнее время появились комбинированные системы цветного телевидения, в которых используются одновременное разложение изображений на три одноцветных и последовательная передача отдельных элементов этих изображений.

Идея, заложенная в основе последовательного метода, иллюстрируется с помощью блок-схемы, изображенной на фиг. 33. Этот метод реализуется с помощью обычного канала телевизионной связи (фотоэлектрический преобразователь, передатчик, приемник и приемная трубка) и двух

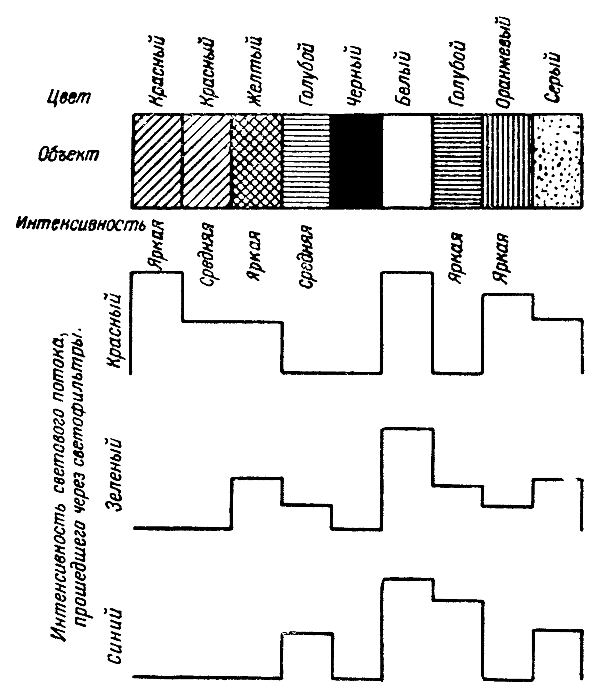
дисков с цветными фильтрами (перед объективом фотоэлектрического преобразователя и перед наблюдателем). Диски вращаются синхронно и синфазно, т. е. во время передачи одного кадра перед объективом и перед наблюдателем находится какой-нибудь определенный светофильтр. Характеристики пропускания (прозрачности) светофильтров аналогичны соответствующим кривым основных цветовых ощущений, изображенным на фиг. 32.

Таким образом, вместо одного цветного изображения перед объективом последовательно проходят три одноцветных. Каждое из одноцветных изображений содержит только часть деталей объекта, соответствующих по окраске, цвету, пропускаемому данным фильтром. Те участки передаваемой сцены, которые окрашены в основные цвета, будут проходить через соответствующие фильтры без ослабления. Свет от участков сцены, окрашенных в промежуточные цвета, будет ослабляться фильтрами, но зато его пропустят два фильтра. Так, например, если сцена окрашена в желтый цвет, то она будет видна несколько затемненной через красный и зеленый фильтры; голубые лучи пройдут затемненными через зеленый и синий фильтры и т. д.

В приемнике перед наблюдателем последовательно проходят три одноцветных изображения. В тот промежуток времени, пока на экране воспроизводится одно из трех (черно-белых) изображений, перед наблюдателем находится соответствующий светофильтр, и он видит каждое из трех изображений окрашенным в один из трех цветов. Если чередование кадров происходит достаточно быстро, три изображения в сознании наблюдателя сливаются в одно, и цвет любого участка определяется соотношением трех основных цветов. Это иллюстрируется условным графическим построением на фиг. 34. Наверху изображен объект передачи, состоящий из различных по окраске и яркости полос. Ниже изображены графики, ординаты которых соответствуют силе света, пропущенного каждым светофильтром, а также пропорциональны яркости соответствующих участков приемной трубки во время прохождения красного, зеленого или синего фильтров.

Например, для создания ощущения белого цвета соответствующий участок экрана освещен во все время передачи, и яркость его максимальна. Наблюдатель видит этот участок последовательно яркокрасным, яркозеленым и яркосиним, что в результате создает ощущение белого цвета. При передаче серого поля сила всех сигналов пропорционально

уменьшается. При передаче яркооранжевого цвета соответствующий участок экрана светится почти с максимальной яркостью во время прохождения красного фильтра и с малой яркостью — во время прохождения зеленого фильтра. Яркоголубое поле создаст сигналы, освещающие экран со



Фиг. 34. Схема, поясняющая преобразование цветных изображений в три одноцветных.

средней яркостью во время прохождения зеленого и синего фильтров, и т. д.

В одновременной системе цветного телевидения изображение оптическими методами разделяется на три изображения, каждое из которых пропускается через красный—*к*, зеленый — *з* и синий — *с* фильтры. В сущности, система состоит из трех отдельных телевизионных каналов, как это видно из рассмотрения фиг. 35. Прежде чем попасть на фоточувствительные поверхности преобразователей, лучи от объекта передачи попадают на переднюю поверхность плоско-параллельной стеклянной пластинки *Пл* и частично от нее отражаются. Отраженные лучи попадают на зеркало $З_1$,

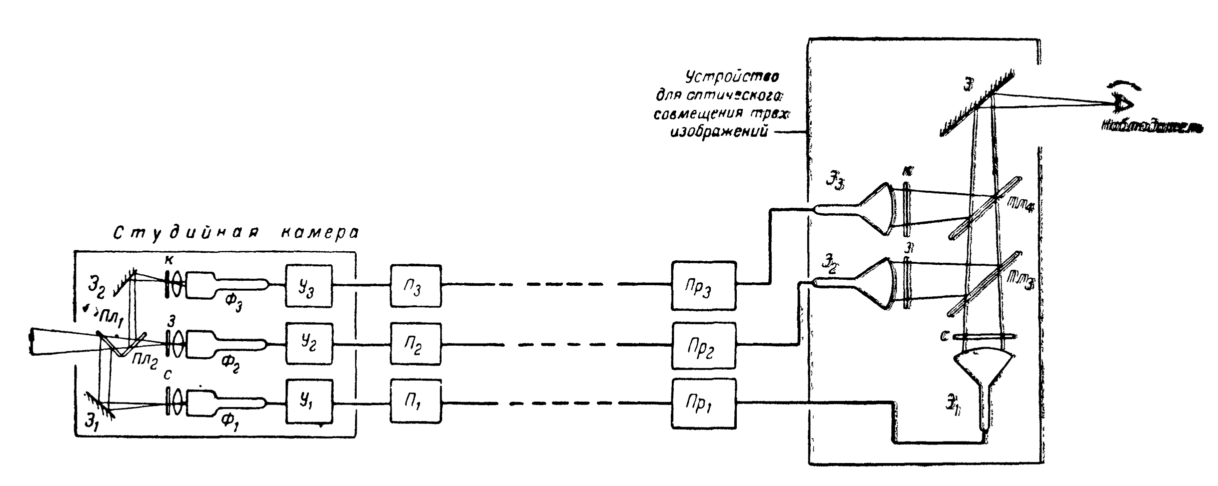
отражаются от него и, пройдя через синий фильтр c в объектив, фокусируются последним на фоточувствительной поверхности первого фотоэлектрического преобразователя $Ф_1$. Электрические сигналы с выхода фотоэлектрического преобразователя усиливаются усилителем $У_1$ и модулируют свой радиопередатчик $П_1$. Аналогично работают и два другие канала.

В приемнике также имеются три канала, которые принимают соответствующие электрические сигналы и преобразуют их в изображения на экранах трех электронно-лучевых трубок, перед которыми установлены светофильтры. Наблюдение производится через специальную зеркальную оптическую систему, в которой точно совмещаются все три одноцветные изображения. Устройство приемной оптической системы поясняется фиг. 35. Все три приемные электронно-лучевые трубки $Э_1$, $Э_2$ и $Э_3$ рассматриваются в зеркале $З$. Лучи от трубки $Э_1$, прежде чем попасть на зеркало, проходят через пластинки $Пл_3$ и $Пл_4$; лучи от трубки $Э_2$, отражаясь от пластины $Пл_3$, проходят через пластину $Пл_4$ и т. д.

В процессе формирования цветного изображения зрительная память не участвует. Здесь происходит оптическое смешивание цветов, и наблюдатель видит одновременно все три изображения.

Познакомившись с основными методами передачи цветного телевидения, перейдем к рассмотрению некоторых технических подробностей.

Система с последовательной передачей цветов. Выше было указано, что для создания слитного цветного изображения скорость передачи должна быть повышена. Опыты показали, что при большой яркости экрана и недостаточной скорости передачи появляются неприятные физиологические эффекты. К таким эффектам относятся: прерывание цвета, междустрочное мерцание и мерцание всего изображения. Прерывание цвета проявляется в появлении цветной бахромы у движущихся светлых предметов. Мерцание между строками появляется при чересстрочной развертке, если частота полей мала, т. е. когда велик промежуток времени между появлением соседних строк. Мерцание всего изображения связано с общей низкой частотой цветных кадров. Было установлено, что число полных цветных изображений, передаваемых в секунду, не должно быть меньше 20—25, причем целесообразно введение чередующихся цветных полей при чересстрочной развертке, т. е. за то же время, за которое в черно-белом телевидении передается один кадр,



Фиг. 35. Схема телевизионной системы с одновременной передачей цветов.

$Пл_1$, $Пл_2$, $Пл_3$, $Пл_4$ — полупрозрачные пластинки; $З$, $З_1$, $З_2$ – зеркала; *к*, *з* и *с* —красный, зеленый и синий светофильтры; $Ф_1$, $Ф_2$ и $Ф_3$ — фотоэлектрические преобразователи в каналах синего, зеленого и красного цветов, $У_1$, $У_2$ и $У_3$— видео-усилители в каналах синего, зеленого и красного цветов; $П_1$ $П_2$ и $П_3$ — передатчики, $Пр_1$, $Пр_2$ и $Пр_3$ — приемники; $Э_1$, $Э_2$ и $Э_3$ — электронно-лучевые трубки.

в цветном телевидении необходимо передать, в сущности, три изображения (красное, зеленое и синее). При этом за время одного полного цикла передачи цветного изображения развертывающий луч обходит поверхность кадра шесть раз: три раза по нечетным строкам и три раза — по четным. Каждый из таких шести циклов называется цветовым полем. Положение светофильтров для всех шести полей иллюстрируется следующей схемой:

Поле № 1 —	нечетные	строки	— красный	светофильтр
„ № 2 —	четные	„	— синий	„
„ № 3 —	нечетные	„	— зеленый	„
„ № 4 —	четные	„	— красный	„
„ № 5 —	нечетные	„	— синий	„
„ № 6 —	четные	„	— зеленый	„

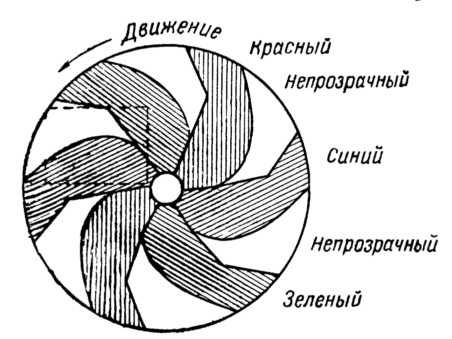
Затем цикл повторяется снова. Таким образом, разложение по четным строкам при передаче, например, красного изображения не следует непосредственно за разложением по нечетным строкам красного, а отодвигается на время, пока будут частично переданы синие и зеленые элементы. Разложение по четным строкам следует за разложением по нечетным, но в другом цвете. Разложение по такой схеме чередующихся цветных полей уменьшает эффекты мерцания и прерывания цвета.

Если положить, что передача всего цветного цикла (цветного кадра) занимает $^1/_{25}$ сек., то время передачи цветного поля составит $^1/_6$ от этой величины, т. е. $^1/_{150}$ сек., а процесс развертки по нечетным и четным строкам займет $^1/_{150} + ^1/_{150} = ^1/_{75}$ сек. Значит, общее количество строк разложения луч должен пройти за $^1/_{75}$ сек.; он должен двигаться в три раза быстрее, чем в черно-белом телевидении, где кадровый период составляет $^1/_{25}$ сек. При сохранении того же числа строк, что и в черно-белом телевидении (625), полоса видеочастот возрастет до 15—18 *мггц*, так как полоса частот пропорциональна скорости движения луча в горизонтальном направлении.

Если сократить, например, число строк с 625 до 343, то полоса видеочастот трехцветной телевизионной системы составит 6 *мггц*, что вполне совместимо с действующим стандартом. Хотя четкость передачи при этом и уменьшается, однако наличие цвета сможет несколько компенсировать уменьшение числа строк. В этом случае можно будет в некоторой мере использовать передающую и приемную аппаратуру черно-белого телевидения. Приемник черно-белого

телевидения нужно будет снабдить дополнительной приставкой для приема цветных передач, состоящей из электродвигателя, бесшумно вращающего диск со светофильтрами (фиг. 36). Кроме того, в таком комбинированном приемнике должны быть предусмотрены переключение частот генераторов разверток и схема для питания электродвигателя.

Особенности телевизионной передающей аппаратуры при этом методе состоят, в основном, в том, что усложняется устройство для создания синхронизирующих импульсов (синхрогенератор) и вводится устройство для цветовой коррекции (цветосмеситель).



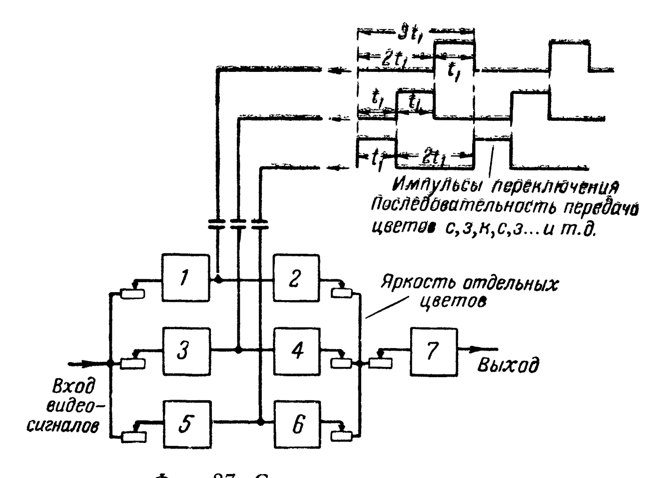
Фиг. 36. Диск с цветными фильтрами, вращающийся в приемнике перед экраном.

Помимо того, что диск с фильтрами в приемнике должен вращаться с такой же скоростью, как и диск перед объективом студийной камеры, необходимо еще обеспечить синфазность их работы. Это осуществляется подачей специальных фазирующих импульсов, которые вырабатывает синхрогенератор. Фазирующие импульсы вводятся в сигнал во время действия вертикального (кадрового) гасящего импульса перед началом цветовых полей одного определенного цвета (например, синего). Фазирующие импульсы управляют движением электродвигателей как в студии, так и на приемном пункте. В приемнике фазирующие импульсы отделяются от сигналов синхронизации и поступают в особую схему питания электродвигателя. Действие схемы сводится к тому, что если появление фазирующих импульсов не совпадает с моментом появления синего фильтра, электродвигатель тормозится до тех пор, пока не произойдет совпадение.

Цветосмеситель предназначается для индивидуального изменения сигналов от различных цветовых кадров. Он состоит из трех видеоусилителей с общим входом и выходом. На вход цветосмесителя подаются сигналы от студийной камеры. Каждый из усилителей включается при помощи специальных импульсных сигналов только на то время, пока происходит передача соответствующего цветового поля

(фиг. 37). Таким образом, каждый из усилителей усиливает сигналы одного какого-нибудь цветового кадра. Величины выходных сигналов могут раздельно регулироваться. Таким образом, представляется возможность осуществлять цветные художественные эффекты.

Система с одновременной передачей цветов. Современная передающая телевизионная станция является весьма сложным сооружением, поэтому осуществление системы



Фиг. 37. Схема цветосмесителя.

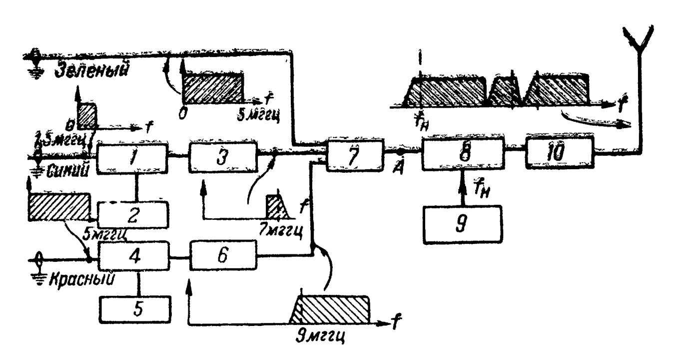
1 и *2*—усилители в канале красного цвета; *3* и *4*— усилители в канале синего цвета; *5* и *6* — усилители в канале зеленого цвета; *7* — общий усилитель.

с одновременной передачей цветов в таком виде, как это показано на фиг. 35, практически весьма трудно выполнимо. Действительно, для цветного телевизионного вещания по этому способу необходимо соорудить три отдельных передатчика, работа которых должна быть точно согласована по излучаемой мощности. Приемная установка также должна состоять из трех отдельных приемников.

В процессе разработки этой системы оказалось возможным частично упростить ее путем использования методов, сходных с многоканальной междугородной телефонной связью на поднесущих частотах.

Блок-схема передающего устройства изображена на фиг. 38. С выхода студийной камеры подаются три видеосигнала, соответствующие красному, зеленому и синему изображениям. Полосы частот зеленого и красного изобра-

жений простираются от 0 (точнее, от 25 *гц*) примерно до 5 *мггц* (при 625 строках разложения). Полоса частот синего изображения, как показали опыты, может быть значительно уменьшена (до 1—1,5 *мггц*), так как разрешающая способность глаза к синему цвету значительно меньше, чем к остальным цветам, а высокочастотные составляющие видеосигналов соответствуют мелким деталям изображений. Зеленые сигналы непосредственно поступают к смесителю,



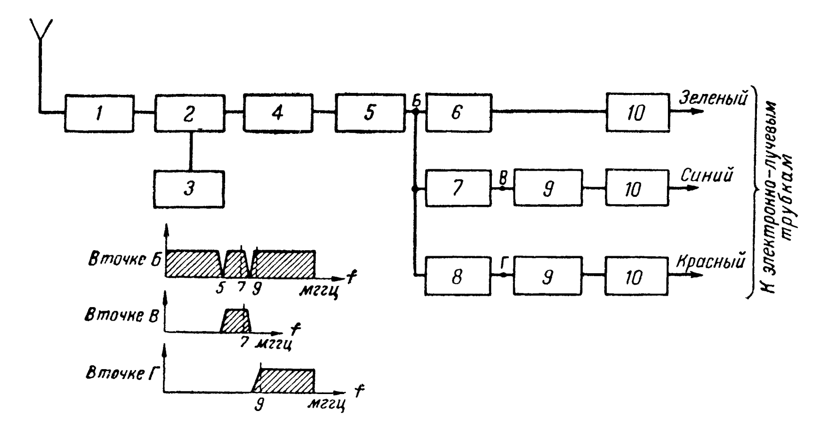
Фиг. 38. Блок-схема передатчика в системе с одновременной передачей цветов (графики частотных спектров относятся к точкам, указанным стрелками).

1 — усилитель и модулятор; *2* — генератор вспомогательной несущей с частотой 7 *мггц*; *3* — фильтр одной боковой полосы частот; *4* — усилитель и модулятор; *5* — генератор вспомогательной несущей с частотой 9 *мггц*; *6* — фильтр одной боковой полосы частот; *7* — смеситель; *8* — усилитель и модулятор радиопередатчика; *9* — генератор несущей; *10* — фильтр одной боковой полосы частот.

который представляет собой усилитель с тремя входами и общим выходом. Синие и красные сигналы непосредственно не попадают в смеситель. Они модулируют вспомогательные высокочастотные генераторы, один из которых генерирует колебания с частотой 7, а другой — 9 *мггц*. Модулированные колебания с несущими частотами 7 и 9 *мггц*, прежде чем попасть в смеситель, проходят через фильтры, подавляющие одну из боковых модуляционных полос: у колебания с несущей частотой 7 *мггц* — верхнюю, а у колебания с несущей частотой 9 *мггц* — нижнюю. Таким образом, к смесителю поступают три рода сигналов: видеосигналы (зеленые), занимающие полосу от 0 до 5 *мггц*, синие сигналы с несущей 7 *мггц* и нижней боковой полосой от 7 до 5,5 *мггц* и красные сигналы с несущей 9 *мггц* и верхней боковой полосой от 9 до 14 *мггц* (фиг. 38). Весь спектр колебаний на выходе смесителя занимает полосу от 0 до

14 *мггц*; этот спектр используется для модуляции радиопередатчика.

Блок-схема приемного устройства изображена на фиг. 39. Спектр колебаний на выходе детектора аналогичен частотному спектру на выходе смесителя в передающем устройстве. С выхода детектора сигналы подаются на вход трех фильтров. Первый пропускает колебания с частотами от 0 до 5 *мггц* (они поступают на управляющий электрод «зеленой» приемной трубки), второй фильтр (полосовой) пропускает колебания с частотами от 5 до 7 *мггц*, третий (также полосовой) — от 9 до 14 *мггц*. Эти колебания вторично детектируются и модулируют приемные трубки красного и синего каналов. Использование цветных фильтров перед экранами трубок нежелательно, так как фильтры рассеивают и поглощают много света, поэтому разработаны особые приемные трубки с красным, синим и зеленым свечениями экранов. К преимуществам одновременной системы можно отнести отсутствие нежелательных эффектов, связанных с перерывом в передаче цветов, и высокую четкость изображений.



Фиг. 39. Блок-схема приемника в системе с одновременной передачей цветов.

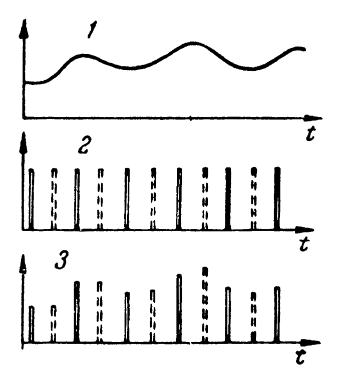
1 — усилитель высокой частоты; *2* — преобразователь; *3* — гетеродин; *4* — усилитель промежуточной частоты; *5* — детектор; *6* — фильтр с полосой пропускания от 0 до 5 *мггц*; *7* — фильтр с полосой пропускания от 5 до 7 *мггц*; *8* — фильтр с полосой пропускания от 9 до 14 *мггц*; *9* — детектор; *10* — видеоусилители в каналах красного, зеленого и синего цветов.

Обе рассмотренные системы обладают одним и тем же существенным недостатком — они требуют широкой полосы пропускания. Правда, в обеих системах за счет уменьшения четкости изображения можно сузить полосу.

В последние годы были разработаны опытные системы, обеспечивающие достаточно высококачественный прием как цветных, так и черно-белых изображений с сохранением существующего стандарта вещания.

ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ С ТОЧЕЧНЫМ РАЗЛОЖЕНИЕМ

Благодаря использованию трехканальной импульсной модуляции, перемежающегося разложения вдоль строк и увеличению времени передачи каждого полного цветного кадра, в системе с точечным разложением удается при полосе 6 *мггц* получать высококачественные цветные изображения. Прежде чем приступить к описанию системы, напомним читателю некоторые положения из теории импульсной связи.



Фиг. 40. Графики, поясняющие принцип амплитудно-импульсной модуляции.

1 — модулирующее напряжение; 2 — серия прямоугольных импульсов; 3 — импульсы, модулированные по амплитуде.

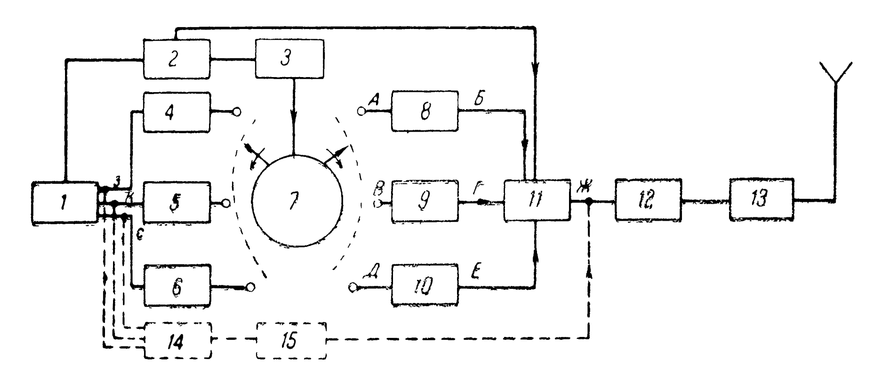
С помощью модуляции прямоугольных импульсов можно осуществить передачу на расстояние сигналов. Для этого необходимо один из параметров, характеризующих импульсы (например, амплитуду или длительность), менять по закону изменения передаваемого сигнала. На фиг. 40 изображены: серия прямоугольных импульсов, сигнал, подлежащий передаче, и импульсы, модулированные по амплитуде этим сигналом. Чем больше количество импульсов в данный промежуток времени, тем точнее модулированные сигналы будут отображать быстрые (высокочастотные) изменения модулирующего напряжения. Такая модуляция принципиально ничем не отличается от обычной амплитудной модуляции синусоидальных колебаний.

Если частота повторения импульсов по крайней мере в два раза выше, чем самая высокая из частот передаваемого сигнала, то при приеме из них можно выделить без больших искажений полезный сигнал. Для этого импульсы должны пройти через фильтр, пропускающий только модуляционные частоты.

Промежутки времени между импульсами не заняты, поэтому их можно использовать для передачи другой серии импульсов, модулированных вторым, третьим и т. д. сигналом.

Приемное устройство должно быть оборудовано быстродействующим коммутатором, сортирующим по отдельным каналам соответствующие серии импульсов.

Предположим, что частота повторения импульсов равна f имп/сек, а частотная характеристика фильтра такова, что он пропускает все частоты от 0 до f включительно без ослабления, а начиная с некоторой частоты, несколько превышающей f, совсем не пропускает сигналов. Тогда, если в диапазоне пропускания фильтр не вносит фазовых искажений и длительность импульсов мала по сравнению с периодом



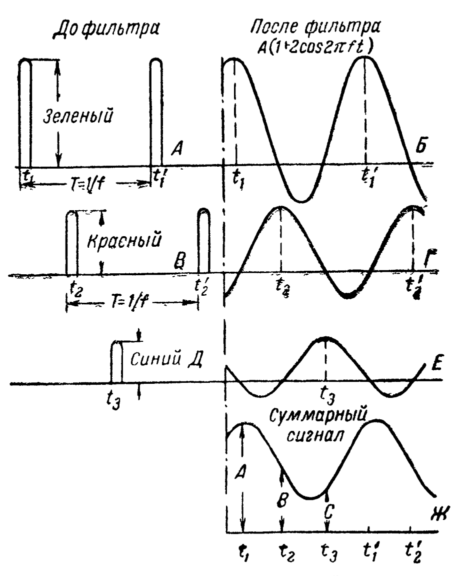
Фиг. 41. Блок-схема передающего устройства системы цветного телевидения с точечным разложением.

1 — студийная камера; *2* — генератор сигналов синхронизации; *3* — импульсный генератор; *4*, *5*, *6* — видеоусилители в каналах зеленого, красного и синего цветов с полосами пропускания от 0 до 3 *мггц*; *7* — импульсный модулятор коммутатор; *8*, *9*, *10* - видеоусилители с полосами пропускания от 0 до 6 *мггц*; *11* — смеситель; *12* — передатчик; *13* — фильтр одной боковой полосы частот; *14* — смеситель высокочастотных составляющих; *15* — полосовой усилитель с полосой пропускания от 3 до 6 *мггц*.

повторения $T = 1/f$, колебание на выходе фильтра будет следовать закону $A \cdot (1 + 2 \cos 2\pi ft)$, где A — амплитудное значение, а t — время, отсчитываемое от начала какого-нибудь импульса. Колебание на выходе состоит из постоянной составляющей и косинусоиды с частотой f. Это колебание через время $t = {}^1/_3T$ и $t = {}^2/_3T$ проходит через нуль независимо от величины амплитуды. Поэтому, если сложить данное колебание с каким-нибудь другим, то величина суммарного сигнала в момент времени $t = {}^1/_3T$ и $t = {}^2/_3T$ будет определяться только мгновенными значениями второго колебания.

Перейдем к рассмотрению принципа действия системы. На фиг. 41 изображена блок-схема передающего устройства. Развертки студийной камеры, ничем не отличающейся от

ранее разобранной (фиг. 35), запускаются сигналами синхрогенератора. Синхрогенератор запускает также устройство, создающее узкие прямоугольные импульсы, например, с частотой повторения 18 *мггц*. Выход импульсного генератора соединен с электронным коммутатором-модулятором, в котором производится амплитудная модуляция импульсов. С помощью коммутатора к модулятору последовательно подключаются выходные напряжения студийной камеры, соответствующие зеленому, красному и синему цветам.



Фиг. 42. Форма напряжений в различных точках схемы, изображенной на фиг. 41.

Высокочастотные составляющие всех трех цветных каналов, образующие мелкую структуру изображения, прежде чем попасть на вход коммутатора, отделяются от видеосигнала с помощью полосового фильтра, пропускающего колебания с частотами выше 3 *мггц*, и затем смешиваются с основными видеосигналами (пунктирное построение на фиг. 41). Все мелкие детали изображения в этой системе воспроизводятся черно-белыми; от этого качество изображения не страдает, а даже, наоборот, четкость его повышается.

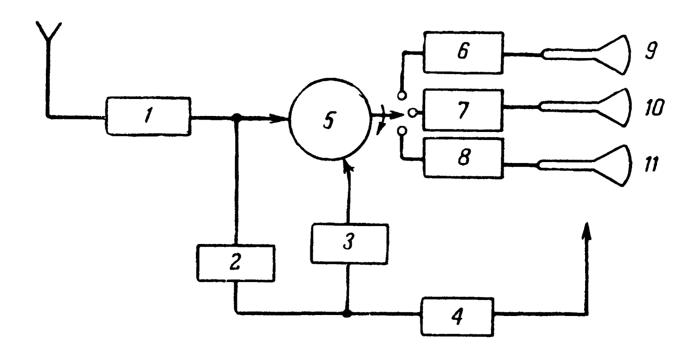
В моменты времени, когда коммутатор подключает к модулятору, например, зеленые видеосигналы, выход коммутатора оказывается подключенным к одному из трех фильтров, пропускающих колебания с частотами от 0 до 6 *мггц*. Таким образом, последовательность импульсов с частотой 18 *мггц* разбивается на три серии, каждая с частотой повторения 6 *мггц*, сдвинутые по фазе друг относительно друга на 1/3 периода и модулированные видеосигналами одного из трех цветов (фиг. 42, *А*, *В*, *Д*).

На выходе фильтров получаются сигналы, изображенные на фиг. 42, *Б*, *Г* и *Е*. Из этих графиков видно, что

в моменты времени, когда выходное напряжение одного из каналов максимально, в двух остальных оно равно нулю (моменты времени t_1, t_2, t_3). Сложив все три колебания, получим сигнал, частота которого равна 6 *мггц*, а мгновенные значения в моменты времени t_1, t_2 и t_3 точно равны амплитудным значениям импульсов и, следовательно, видеосигналам красного, зеленого и синего каналов (фиг. 42,*Ж*).

Полученный таким образом сложный видеосигнал смешивается с импульсами синхронизации и модулирует радиопередатчик.

Приемное устройство (фиг. 43) состоит из приемника, специальной импульсной схемы, трех приемных трубок



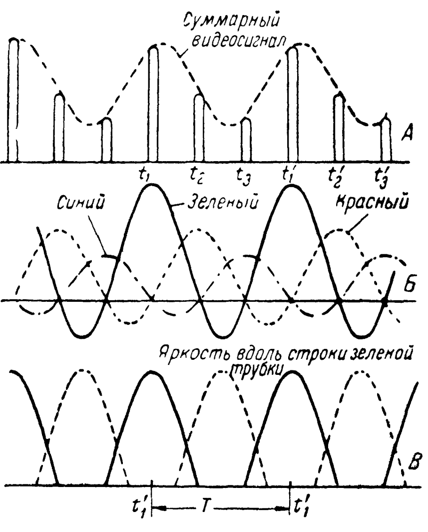
Фиг. 43. Блок-схема приемного устройства в системе цветного телевидения с точечным разложением.

1 — приемник; *2* — отделитель сигналов синхронизации; *3* — импульсный генератор; *4* — генератор разверток; *5* — модулятор-коммутатор; *6, 7, 8* — видеоусилители в каналах красного, зеленого и синего цветов; *9, 10, 11* — электронно-лучевые трубки.

и оптического устройства для совмещения трех одноцветных изображений. После детектирования от сложного видеосигнала отделяются импульсы синхронизации, которые управляют работой разверток и запускают специальный генератор узких прямоугольных импульсов с частотой повторения 18 *мггц*. Эти импульсы поступают к модулятору-коммутатору, куда также подаются видеосигналы, которые производят амплитудную модуляцию импульсов (фиг. 44,*А*). Работа импульсной схемы синхронизируется таким образом, чтобы импульсы появлялись в те моменты времени, когда мгновенные значения сложного видеосигнала соответствуют величине только одного из трех сложенных видеосигналов, т. е. импульсы должны появляться в моменты времени t_1, t_2 и t_3 (фиг. 44,*А*).

При помощи коммутатора импульсы распределяются между тремя видеоусилителями так, что на вход одного и того же усилителя попадает каждый третий импульс. Сигналы на входах видеоусилителей изображаются рассмотренными уже графиками на фиг. 42, *Б*, *Г* и *Е* или на фиг. 44, *Б*, где три кривые изображены на одном графике. Подав один из таких сигналов на управляющий электрод соответствующей приемной трубки, получим вдоль строки ряд светящихся точек, яркость свечения которых пропорциональна амплитудам сигналов (фиг. 44,*В*—сплошные линии).

Максимумы цветных светящихся точек расположены друг от друга на расстояниях, которые луч проходит за один период колебания с частотой 6 *мггц*, т. е. за 0,16 *мксек*. Если учесть что луч пробегает одну строку приблизительно за 50 *мксек* (при 625 строках разложения), то вдоль строки каждой из приемных трубок расположится около 300 цветных точек, разделенных между собой темными промежутками.

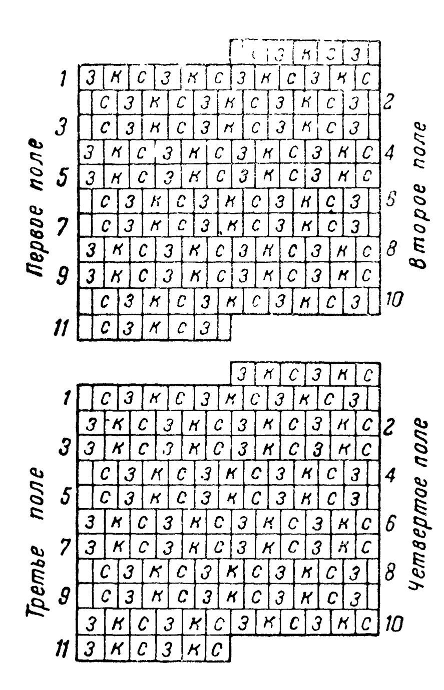


Фиг. 44. Графики, поясняющие работу приемного устройства, изображенного на фиг. 43.

Видеосигналы подаются на три отдельных трубки с цветными фильтрами или цветными экранами. В устройстве для наблюдения, аналогичном ранее описанному (фиг. 35), контуры трех одноцветных изображений точно совмещаются. Цветные максимумы точек несколько сдвинуты, как видно из фиг. 44,*Б*.

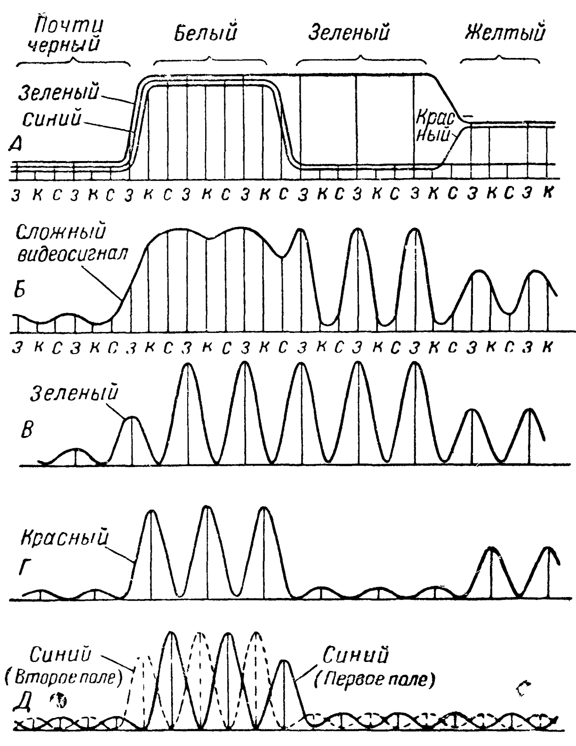
Когда электронный луч будет следующий раз прочерчивать ту же самую строку, положение световых точек сдвинется так, что максимумы попадут в те места, которые при прошлом прочерчивании были темными (фиг. 44,*В* — пунктир). Это достигается соответствующей фазировкой импульсов, осуществляемой синхрогенератором; в начале каждой новой строки импульсы сдвигаются на 180° или, во времени,

на $^1/_2$ периода T. Вспомнив о том, что развертка чересстрочная, можно сделать вывод, что полный цикл создания цветного изображения будет образовываться четырьмя полями: первое поле — нечетные строки, второе — четные, третье — нечетные строки, но точки сдвинуты на $^1/_2 T$, четвертое — четные строки, но точки также получили относительный сдвиг на $^1/_2 T$, как это условно показано на фиг. 45. Если частота полей такая же как и в черно-белом телевидении (50 полей в секунду), то за 1 сек. будет передаваться 12,5 полных цветных изображений. Так как возникновение и чередование точек происходит в участках, едва различимых глазом, т. е. почти на пределе разрешающей способности, то, как показали опыты, цветового мерцания или перерывов в цвете в этой системе не наблюдается.



Фиг. 45. Схема, поясняющая последовательность точечного разложения.
з — зеленый; *к* — красный; *с* — синий.

В заключение рассмотрим формы видеосигналов, когда передаваемое изображение состоит из ряда вертикальных цветных полос. Для этого случая на фиг. 46,*А* показаны три видеосигнала на выходе студийной камеры, а на фиг. 46,*В*, *Г* и *Д* (сплошные линии) — сигналы, которые получаются на выходах трех усилителей с полосой пропускания от 0 до 6 *мггц* после прохождения через них импульсов с частотой 18 *мггц*, модулированных видеосигналами. Кривые на фиг. 46,*В*, *Г* и *Д* соответствуют распределению яркостей вдоль строк приемных трубок. На фиг. 46,*Б* изображен сложный видеосигнал, модулирующий передатчик; этот же сигнал выделяется на выходе детектора в приемнике. На фиг. 46,*Д* пунктиром показано распределение яркости, когда электронный луч будет вторично прочерчи-



Фиг. 46. Видеосигналы, соответствующие передаче различных цветов в системе с точечным разложением.

вать эту же строку. Если какая-нибудь мелкая яркая деталь сцены не отобразилась при первом прочерчивании, то при втором она будет уже заметна. Точечная структура изображения при использовании такого перемежающегося разложения вдоль строк почти незаметна.

Преимущество описанной системы с точечным разложением состоит в ее совместимости с используемым стандартом черно-белого телевидения, так как полоса видеочастот простирается до 6 *мггц*, однако сложность приемного устройства является основным ее недостатком.

ПРИЕМНЫЕ ТРУБКИ ДЛЯ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Во всех рассмотренных системах цветного телевидения оконечные устройства для наблюдения цветных изображений в том виде, как они описаны, обладают эксплуатационными недостатками. Так, в системе с последовательной пере-

дачей цветов, когда используется одна электронно-лучевая трубка, перед экраном необходимо вращать светофильтры, что требует установки специальной, бесшумной механической системы. Сами фильтры, поглощая часть света, уменьшают яркость изображения.

В системах с одновременной передачей цветов и с точечным разложением в приемниках установлены три трубки с различными цветами свечения экранов (с помощью оптических систем три изображения совмещаются). Оптическая система должна быть выполнена весьма точно, ибо малейшее смещение какого-нибудь из ее элементов или одной из трубок неизбежно приведет к искажениям изображения (ухудшению четкости и появлению цветных контуров).

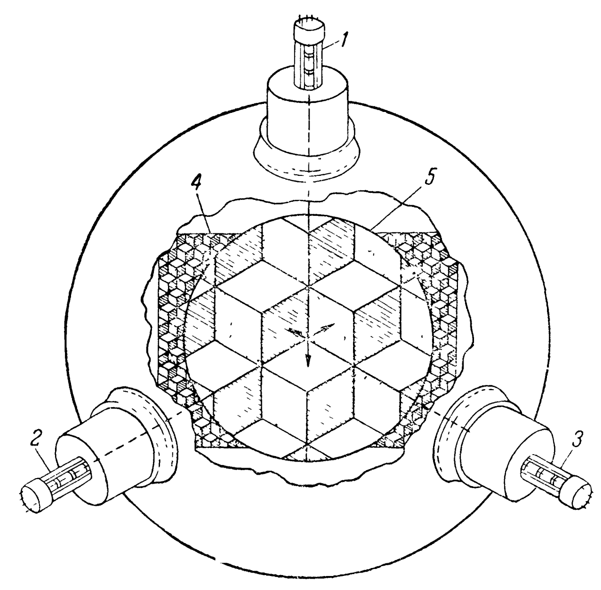
Помимо трудностей механического совмещения, весьма трудно обеспечить устойчивое положение кадра на экране трубки и полную идентичность изображений на трех трубках. Как известно, под влиянием многих причин изображения на экранах приемных трубок часто смещаются, а геометрические искажения, связанные с нелинейностью отклоняющих полей, трудно обеспечить одинаковыми для трех трубок.

Указанные причины привели к разработке специальных электронно-лучевых приемных трубок для цветного телевидения. Схематическое изображение одной из трубок, разработанной для последовательной системы, однако принципиально пригодной и для других систем, приведено на фиг. 47. В этой трубке в одном баллоне, по существу, объединены три приемные трубки. Три электронные пушки, облучающие экран, смонтированы в отростках колбы; отростки разнесены в пространстве так, что их проекции в плоскости рисунка образуют между собой углы, равные 120°. Кроме того, каждый из отростков наклонен так, что образует с плоскостью рисунка угол в 45°. Экран расположен в плоскости рисунка. Если три электронные пушки работают одновременно, то электронные лучи попадают приблизительно в одну и ту же точку экрана, что достигается за счет полной идентичности отклоняющих систем.

Экран трубки выполнен в виде тонкой слюдяной пластинки, на которой укреплено множество мелких трехгранных пирамид. Каждая из сторон пирамиды покрыта флуоресцирующим веществом соответственно с красным, зеленым и синим цветом свечения. При облучении экрана электронный пучок какой-нибудь одной из пушек может попасть только на элементы поверхности, покрытые веществом одного определенного цвета свечения. Таким образом, при

перемещении электронных пучков первая пушка возбуждает все синие элементы, вторая — красные и третья — зеленые. На управляющие электроды каждой из пушек поступают соответствующие видеосигналы. Ввиду малого размера каждой из пирамид на экране получаются слитные цветные изображения.

При последовательной работе каждой из пушек на экране последовательно возникают красное, синее и зеленое изображения. При одновременном облучении тремя лучами



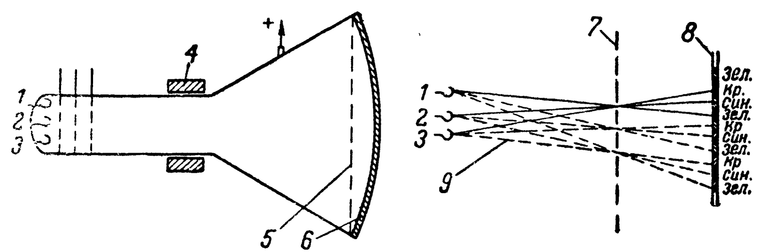
Фиг. 47. Приемная трехпушечная трубка для цветного телевидения с мозаичным экраном.

1, 2, 3 — электронные пушки; *4* — мозаичный экран; *5* — центральная часть экрана в увеличенном виде.

каждая из пирамид светится одновременно тремя цветами. При изготовлении таких трубок возникают серьезные производственные трудности. Наиболее сложным является изготовление экрана. Для того чтобы изображение было высококачественным, число пирамид должно быть весьма большим (несколько сот тысяч), поэтому размеры каждой из них составляют десятые доли миллиметра. В этих условиях произвести точную ориентацию поверхностей очень трудно.

В другой трубке, разработанной для цветного телевидения, используются три электронные пушки и только одна

отклоняющая система, как это показано на фиг. 48. Форма колбы этой трубки не отличается от колб обычных приемных трубок. В узкой горловине смонтированы три электронные пушки, направляющие электронные лучи таким образом, что они сходятся в одной точке на металлической пластине, расположенной перед экраном. Экран трубки имеет мозаичную структуру и состоит из большого количества групп мелких флуоресцирующих элементов. Каждая группа состоит из трех элементов с красным, синим и зеле-



Фиг. 48. Схематическое изображение трехпушечной приемной трубки для цветного телевидения с мозаичным экраном и пластиной с отверстиями (построение справа поясняет принцип работы трубки).

1, 2, 3 — электронные пушки; *4* — отклоняющая система; *5* — пластина с отверстиями. *6* — мозаичный экран; *7* — деталь пластины с отверстиями. *8* — деталь мозаичного экрана. *9* — электронные лучи.

ным цветом свечения. Элементы нанесены в определенном порядке. Перед экраном установлена металлическая пластина с большим количеством отверстий Число отверстий равно числу групп элементов. Отверстия так расположены, что электронные лучи от каждой пушки могут попасть только на элементы одного какого-нибудь цвета.

При изготовлении такой трубки возникают трудности, сьязанные с изготовлением металлической пластины и мозаичного экрана с большим количеством элементов, расположенных точно перед отверстиями пластинки Так, в одном из испытанных образцов экран состоял из 600 000 элементов (по 200 000 элементов каждого из трех цветов свечения). В пластинке соответственно было 200 000 отверстий. Такое количество элементов соответствовало четкости телевизионного изображения приблизительно 400 строк.

Существенным достоинством трубки с металлической пластиной по сравнению с ранее описанной является наличие только одной отклоняющей системы. Этим достигается полная идентичность трех цветных изображений. Принципиально такая трубка может быть использована для любой системы цветного телевидения.

* *
*

Мы рассмотрели основные направления в развитии систем цветного телевидения и ознакомились с достоинствами и недостатками каждой из них. В настоящее время трудно однозначно утверждать, какая из систем окажется наиболее приемлемой, так как все они еще находятся в стадии лабораторных исследований. Во всяком случае, цветное телевидение уже находится на такой ступени своего развития, когда, в основном, не технические, а скорее экономические факторы определяют пригодность той или иной системы к внедрению в практику телевизионного вещания.

СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

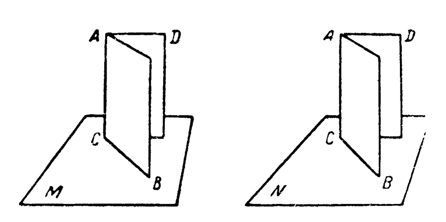
Задачей стереоскопического телевидения является создание объемных, рельефных изображений, обладающих третьим измерением — глубиной, ибо на обычном плоском экране, за счет изменения от элемента к элементу освещенности, можно воссоздать изображение, обладающее только двумя измерениями — высотой и шириной. Последнее утверждение может показаться читателю не соответствующим действительности. Ведь рассматривая фотографии или телевизионное изображение, мы судим о том, какой предмет находится ближе, а какой дальше, значит можно говорить о глубине сцены, созданной на плоскости. Для того, чтобы подробнее разобраться в этом вопросе, рассмотрим некоторые особенности зрения и способы создания подлинно объемных изображений.

ОБЪЕМНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Наблюдение предметов производится двумя глазами, находящимися друг от друга на известном расстоянии (у различных людей это расстояние колеблется от 58 до 72 *мм*). Поэтому зрительные впечатления, полученные от правого и левого глаза, при рассматривании предмета будут несколько различны. На фиг. 49 представлены изображения одного и того же предмета такими, какими они видны правым и левым глазами. Предмет как бы охватывается с двух сторон, и в нашем сознании всегда суммируются два различных изображения, полученные двумя глазами. Поэтому наше сознание имеет возможность дополнять полученную картину третьим измерением — глубиной, не-

смотря на то, что каждое из полученных изображений является плоским.

Рассматривая предметы одним глазом или рассматривая обычную фотографию предмета, мы все же судим о глубине. Однако в этом случае впечатление глубины достигается тем, что человек дополняет изображение опытом собственного сознания. В этом ему помогают такие детали изображения, как полутени, уменьшение размеров предметов с удалением и др. Подлинное суждение о глубине при зрении одним глазом или при рассматривании фотографий утрачивается. В этом легко убедиться, проделав следующий опыт.



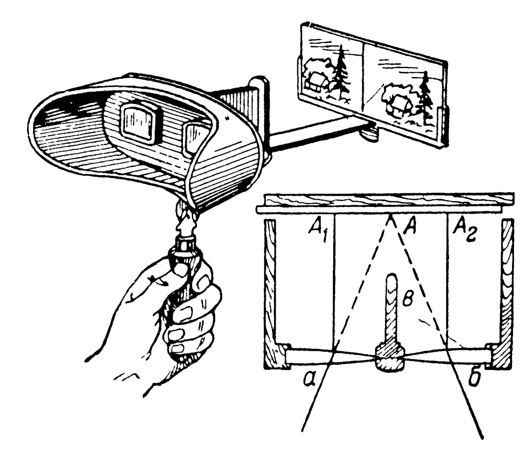
Фиг. 49. При рассматривании одного и того же изображения на сетчатках правого и левого глаза получаются различные изображения.

Установим на темном столе, на расстоянии 25—40 *см* от края, небольшой предмет, например спичечную коробку. Опустив голову на уровень предмета, прикроем один глаз и попробуем указательным пальцем сверху попасть на угол коробки. Вряд ли это удастся. Если тот же опыт проделать при наблюдении двумя глазами, то любую точку предмета можно указать безошибочно.

Зрение двумя глазами называется **бинокулярным** или **стереоскопическим**. Искусственное создание эффекта стереоскопического зрения известно уже с 15 в., но полное практическое осуществление было достигнуто лишь ко времени развития фотографии (середина и конец прошлого столетия). Для создания эффекта стереоскопического зрения обязательным является наличие двух изображений, зафиксированных с разных точек зрения, и создание таких условий наблюдения, при которых каждый глаз видит только одно изображение и не видит изображения, зафиксированного с другой точки зрения.

Стереоскопический фотоаппарат представляет собой два аппарата обычного типа, поставленные рядом, причем расстояние между их объективами равно расстоянию между глазами человека. В результате съемки получаются две фотографии предмета, снятые с двух различных точек зрения. Фотографии рассматриваются в стереоскопе, устройство которого поясняется фиг. 50. Двойная фотография (для

правого и левого глаза) помещается у задней стенки прибора (A_1 и A_2). Лучи света, идущие в один глаз из точки A_1, а в другой — из точки A_2, кажутся (вследствие преломления в призмах *а* и *б*) каждому глазу идущими из одной точки — A. Наличие перегородки *в* предохраняет от попадания лучей света от точки A_1 в правый глаз, а от точки A_2 — в левый глаз. Таким образом, оба различных изображения,



Фиг. 50. Устройство призменного стереоскопа.

каждое из которых видно только одному глазу, кажутся находящимися в одном и том же месте и воспринимаются, как изображения от реальных предметов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБЪЕМНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

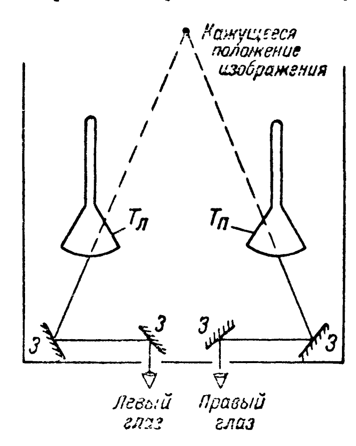
Попытки воссоздания стереоскопического эффекта в телевидении делались на протяжении почти всей его истории, однако решений, полностью удовлетворяющих практику, до сих пор еще не получено.

Простейшим способом создания стереоскопического телевидения является использование двухканальной телевизионной системы. В этом случае на передающем пункте одновременно работают две телевизионные камеры, установленные рядом, так чтобы расстояние между объективами равнялось расстоянию между глазами. Выходные сигналы камер модулируют соответственно два радиопередатчика. Прием осуществляется двумя приемниками, и на экранах двух электронно-лучевых трубок создаются два изображе-

ния, соответствующие правой и левой камерам. Наблюдение изображений может производиться с помощью зеркального стереоскопа, устройство которого показано на фиг. 51.

Указанное решение проблемы стереоскопического телевидения имеет существенные практические недостатки. К их числу можно отнести невозможность наблюдения изображений несколькими зрителями, а также необходимость двойного увеличения количества аппаратуры.

Последний недостаток устраним за счет повышения скорости передачи, т. е. расширения полосы частот канала телевизионной связи. В этом случае правое и левое изображения, полученные от двух студийных камер, передаются по одному каналу связи попеременно. Для этого к управляющим электродам электронных пушек передающих трубок подводятся прямоугольные импульсы, запирающие электронный луч поочередно у обеих трубок. После того, когда заканчивается цикл развертки в одной из трубок, она запирается и одновременно отпирается электронный луч другой трубки и т. д. Выходы камер подключены к одному и тому же модулятору, так что видеосигналы каждой из камер попеременно модулируют один радиопередатчик. Приемное устройство содержит одну электронно-лучевую трубку. Разложение на ее экране осуществляется непрерывно, поэтому перед наблюдателем попеременно следуют правое и левое изображения.



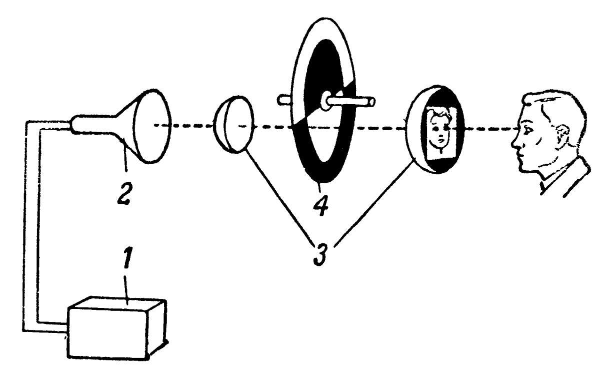
Фиг. 51. Устройство зеркального стереоскопа для наблюдения объемных изображений, создаваемых на экранах электронно-лучевых трубок.

З — плоские зеркала; $Т_л$ — трубка левого изображения; $Т_п$ — трубка правого изображения.

Для создания стереоскопического эффекта необходимо обеспечить, чтобы правый глаз видел изображение только от правой камеры, а левый глаз — только от левой. Такое разделение осуществляется с помощью непрозрачного вращающегося диска с особыми вырезами. Вращение диска синхронизируется с работой генератора запирающих им-

пульсов студийных камер. Зритель располагается перед вращающимся диском (фиг. 52) и наблюдает через него экран. Глаза зрителя ориентируются так, чтобы диск попеременно прикрывал один из них. Когда на экране разворачивается правое изображение, — левый глаз наблюдателя прикрыт, и наоборот.

Если обеспечить достаточную скорость передачи, то за счет зрительной памяти ощущение от одного изображения не успеет исчезнуть, пока будет передаваться другое, и, таким образом, создастся эффект непрерывного, немерцающего рельефного изображения. Как известно, двойное уве-



Фиг. 52. Устройство приемника для наблюдения стереоскопических телевизионных изображений.
1 — приемник; *2* — электронно-лучевая трубка; *3* — линзы; *4* — диск.

личение скорости разложения приводит к необходимости двойного расширения полосы частот усилительного канала. Однако основной недостаток описанной системы состоит в том, что наблюдение может производиться лишь одним зрителем.

При создании систем стереоскопического телевидения возникают задачи, аналогичные задачам, разрешенным уже в технике стереоскопического кино, поэтому использование опыта кинотехники во многом может способствовать созданию стереоскопического телевидения. В частности, используя метод ц в е т н ы х ф и л ь т р о в, можно увеличить число зрителей, одновременно наблюдающих изображение на экране трубки. Познакомимся с этим методом.

Если смотреть на окружающие нас предметы через красную стеклянную пластинку, они будут казаться окрашенными в красный цвет. Это происходит потому, что пла-

стинка пропускает только красные лучи. Если перед красной пластинкой поместить еще зеленую, то вообще ничего не будет видно, так как зеленая пластинка пропускает только зеленые лучи, которые отсутствуют после прохождения света через красную пластинку.

Два предмета, окрашенные в красный и зеленый цвета, будут отражать соответственно красные и зеленые лучи, Если один глаз прикрыть зеленым фильтром, а другой — красным, то первый не увидит красного предмета, а второй — зеленого.

Используя это явление, можно произвести разделение правого и левого изображений, попеременно возникающих на экране приемной трубки. Для этого необходимо перед экраном трубки поместить вращающийся диск с цветными фильтрами, так чтобы в те промежутки времени, когда на экране разворачивается, например, правое изображение, экран был прикрыт красным фильтром, а во время прохождения левого изображения — зеленым.

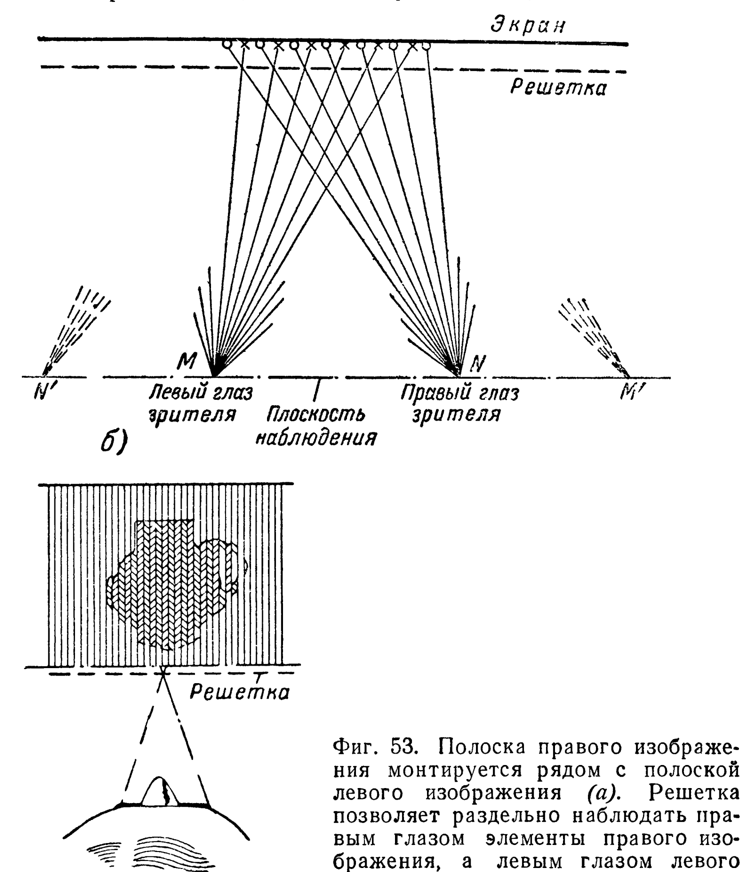
Снабдив всех зрителей очками из таких же цветных фильтров (так, чтобы правый глаз был прикрыт красным фильтром, а левый — зеленым), мы достигнем необходимого разделения изображений.

Неудобство, связанное с использованием этого метода, состоит в том, что зрители должны иметь очки. Кроме того, как показал опыт стереоскопического кино, при использовании цветных фильтров наблюдаются цветовая утомляемость зрения и другие неприятные физиологические явления.

Советским изобретателем, лауреатом сталинской премии С. П. Ивановым, была впервые практически осуществлена система стереоскопического кино, в которой отпала необходимость в индивидуальных зрительных приборах для разделения правого и левого изображений. Система эта основана на использовании так называемой растровой оптики. В настоящее время среди специалистов в области телевидения прочно установилось мнение, заключающееся в том, что использование растровых оптических приспособлений позволит разрешить проблему стереоскопического телевидения. Рассмотрим принцип, лежащий в основе системы С. П. Иванова, и технические возможности применения этого принципа к стереоскопическому телевидению.

Разрежем две фотографии, полученные в результате съемки с помощью стереоскопического фотоаппарата, на очень узкие продольные полоски. Полоски наклеим на лист бумаги так, чтобы они чередовались между собой: полоска

правого снимка, рядом с ней соответственная полоска левого снимка и т. д., как это показано на фиг. 53,*а*. Перед полученным изображением, содержащим в себе как правый, так и левый стереоснимки, поместим решетку, составленную



Фиг. 53. Полоска правого изображения монтируется рядом с полоской левого изображения *(а)*. Решетка позволяет раздельно наблюдать правым глазом элементы правого изображения, а левым глазом левого *(б)*.

из узких, чередующихся между собой прозрачных и непрозрачных вертикальных полосок.

Если смотреть на изображение через эту решетку, то можно найти такое положение, при котором правым глазом наблюдатель не увидит полосок, принадлежащих левому изображению, и, наоборот, левый глаз не увидит полосок от правого изображения.

Можно подобрать такое соотношение элементов решетки (ширину прозрачных и непрозрачных ее частей), и так расположить элементы фотографий, чтобы из точек, где находятся глаза наблюдателя, были видны все элементы изображений, соответствующие каждому глазу. В этом случае зритель будет наблюдать стереоскопическую картину.

Рассуждения относительно разрезанной фотографии полностью применимы к тому случаю, когда на экране электронно-лучевой трубки будут созданы аналогичные чередующиеся полосы правого и левого стереоскопических телевизионных изображений. В отличие от обычно применяемой горизонтальной строчной развертки в этом случае развертка должна быть в виде вертикальных строк, а передающие трубки обеих камер должны попеременно (чересстрочно) запираться соответствующими импульсами. Чрезвычайно сложной в данном случае представляется задача поддержания стабильным изображения на экране относительно полос решетки. В связи с тем, что полос на экране должно быть несколько сот, ширина каждой полосы составит доли миллиметра, поэтому малейшее изменение взаимного расположения изображения и решетки приведет к потере стереоскопического эффекта.

Таким образом, наличие решетки позволяет обойтись без индивидуальных зрительных приборов для разделения изображений. Однако количество зрителей при этом ограничено, так как решетка выполняет свою роль лишь в случае вполне определенного расстояния от нее до наблюдателя. Это иллюстрируется фиг. 53,*б*.

Если провести ряд прямых, соединяющих середины, например, всех правых полосок, отмеченных на рисунке условно кружками, с серединами вырезов в решетке, то, продолжив эти прямые, мы получим в некоторой точке N их пересечение; здесь и должен находиться правый глаз наблюдателя. Подобным же образом в точке M, полученной от пересечения прямых, проходящих через полоски левого изображения (крестики на фиг. 53,*б*), должен находиться левый глаз наблюдателя. Можно так подобрать все размеры системы (расстояние между экраном и решеткой и ширину полосок решетки), чтобы точки M и N находились друг от друга на расстоянии, равном расстоянию между глазами. В этом случае зритель сможет наблюдать стереоскопическое изображение.

В пространстве перед решеткой можно найти еще несколько точек, аналогичных M и N, например, M' и N',

M'' и N'' и т. д., однако, все эти точки будут находиться в одной вертикальной плоскости, т. е. на одинаковом расстоянии от экрана. Таким образом, число зрителей ограничивается.

В советской системе стереоскопического кино вопрос увеличения числа зрителей, одновременно наблюдающих стереоскопическое изображение, успешно разрешен путем применения наклонной решетки из сходящихся книзу прозрачных и непрозрачных полос, однако применение этого метода к стереоскопическому телевидению таит пока ряд существенных технических затруднений, которые еще предстоит разрешить нашим ученым.

СОДЕРЖАНИЕ

[redacted] Цена 1 р. 80 к. по прейскуранту 1952 г.